



TUGAS AKHIR - TM141585

**ANALISIS *COLLISION* PADA *CHASSIS* FORMULA
SAPUANGIN SPEED DENGAN MATERIAL
ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

**ABDILLAH HADI ALIF ILHAMI
NRP 2112100046**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



UNDERGRADUATE THESES - TM141585

**COLLISION ANALISYS OF ALUMINIUM CHASSIS
FORMULA SAPUANGIN SPEED WITH FINITE
ELEMEN METHODE**

**ABDILLAH HADI ALIF ILHAMI
NRP 2112100046**

**Supervisor
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**ANALISIS COLLISION PADA CHASSIS FORMULA
SAPUANGIN SPEED DENGAN MATERIAL ALUMINIUM
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**


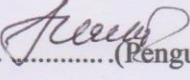

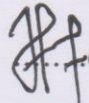
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ABDILLAH HADI ALIF ILHAMI
Nrp. 2112 100 046

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.  (Pembimbing)
(NIP . 196508101991021001)
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc. PhD.  (Penguji I)
(NIP . 195106051978031002)
3. Indra Sidharta, ST, MSc.  (Penguji II)
(NIP . 198006192006041004)
4. Alief Wikarta, ST, MSc. Eng. PhD.  (Penguji III)
(NIP . 198512022014042002)

SURABAYA
JULI, 2016

ANALISIS *COLLISION* PADA *CHASSIS* FORMULA SAPUANGIN SPEED DENGAN MATERIAL ALUMINIUM MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama : Abdillah Hadi Alif Ilhami
NRP : 2112100046
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA

ABSTRAK

Pada tahun 2016 ini, Tim Sapuangin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) kembali berpartisipasi di ajang Student Formula Japan (SFJ) di Shizuoka Ecopa Stadium Japan. Kompetisi SFJ ini merupakan salah satu kompetisi Formula Student yang diadakan oleh Society of Automotive Engineering (SAE) di Jepang atau biasa disebut FSAE.. Tahun ini merupakan tahun ke 4 untuk Tim Sapuangin ITS menjadi partisipan dalam kompetisi tersebut dengan mobil formula yang bernama Sapuangin Speed 4 dengan menggunakan engine berkapasitas 450 cc. Pembuatan mobil formula Sapuangin Speed dimulai dari proses perancangan kendaraan seperti vehicle dynamic, chassis, body, engine, electrical dan drive train. Salah satu faktor krusial dan penting yang memengaruhi keamanan kendaraan terletak pada chassis. Perancangan chassis merupakan hal penting dalam proses pembuatan mobil formula Sapuangin Speed. Karena mobil yang dilombakan pada kompetisi SFJ harus memiliki chassis yang ringan mungkin agar beban yang ditopang engine menjadi minimal. Akan tetapi chassis harus kuat untuk keutamaan keselamatan driver ketika terjadi tabrakan.

Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga, dan system analisa yang digunakan adalah Eksplisit Dinamic. Mekanisme pemodelan

pengujian collision yang dilakukan yaitu full width frontal collision dan offset frontal collision. Berat mobil di perlombaan SFJ ini bisa dikatakan seragam, karena perbedaan berat mobil dengan mobil lain tidak begitu signifikan dan juga collision yang terjadi diakibatkan tabrakan dengan pembatas lintasan ataupun dengan bagian belakang mobil lain yang tiba-tiba berhenti saat bertanding. Sehingga tabrakan bisa dimodelkan dengan tabrakan kendaraan dengan barrier. Variasi collision yang akan dianalisa yaitu Full width frontal collision dengan dan tanpa menggunakan impact attenuator dengan kecepatan 48.3 km/jam dan Offset frontal collision dengan dan tanpa menggunakan impact attenuator dengan kecepatan 48 km/jam sesuai dengan standar FMVSS 204.

Hasil dari simulasi pengujian tabrak chassis Sapuangin Speed menunjukkan bahwa chassis masih aman ketika mengalami collision baik full width frontal collision maupun offset frontal collision menurut standar FMVSS 204. Impact attenuator yang digunakan dapat mengurangi besarnya deformasi yang terjadi pada chassis Sapuangin Speed.

Kata kunci: chassis, impact attenuator, barrier, frontal collision

COLLISION ANALISYS OF ALUMINIUM CHASSIS FORMULA SAPUANGIN SPEED WITH FINITE ELEMEN METHODE

Student Name : Abdillah Hadi Alif Ilhami
Id number : 2112100046
Department : Mechanical Engineering ITS
Advisor : Dr. Ir. Agus Sigit P., DEA

ABSTRACT

In 2016 ITS Team Sapuangan, delegation of Sepuluh Nopember Institute of Technology back to participate in Student Formula Japan. This competition held by Society of Automotive Engineer also called by FSAE. 2016 become the fourth year participation of ITS Team Sapuangan with their fourth generation of 450cc vehicle called Sapuangan Speed 4. The process for creating this car begin with vehicle design and simulation. Chassis design became one of the most important factor in safety. The competition –FSAE- had their own regulation for the safety issue, the participan challanged to design a light weight chassis with regulation to be fullfiled to make sure drivers safety in car collision.

The methode that used in this final project is finite element with Explicit Dynamic analysis. The modeling mechanism conducted in this simulaiton is full width frontal collision and offset frontal collision. The weights of all participant cars are not variate much, so, collision that occurred due to a collision with a barrier trajectory or with the rear of another car suddenly stopped during a match, then collisions can be modeled by collision vehicle with a barrier. The simulation of full width frontal collision without an impact attenuator device will be run on car speed of 48.3 km/h and

Offset frontal collision with impact attenuator with speed of 48 km/h as mentioned in FMVSS 204 Standard.

The simulation resulted the collision of sapuanguin speed chassis design with alumunium material on full width frontal and offset frontal variation on FMVSS 204 standard showed that the design is still marked as a safety design. The impact attenuator will affect a smaller deformation on Sapuanguin Speed collision simulation.

Keyword: chassis, impact attenuator, barrier, frontal collision

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS COLLISION PADA CHASSIS FORMULA SAPUANGIN SPEED DENGAN MATERIAL ALUMINIUM MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”**. Dengan pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis bisa belajar lebih banyak untuk memperdalam dan meningkatkan apa segala ilmu yang telah didapatkan penulis selama menempuh perkuliahan kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan S1 Teknik Mesin. Dengan Tugas Akhir ini penulis juga dapat menghasilkan suatu implementasi dari apa yang telah penulis pelajari.

Selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan beberapa pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.
2. Mama penulis, Dra. Pudji Triati Yulia yang senantiasa mendoakan penulis setiap harinya, untuk kelancaran dan kesuksesan penulis, terimakasih banyak Ma.
3. Ayah penulis, Drs. Effendi Zaini yang selalu mensupport baik moral maupun material, mendukung segala kegiatan penulis pada diperkuliahan dan selalu mendoakan untuk kelancara penulis di perkuliahan, terimakasih Yah.
4. Adik penulis Muhammad Izzat Farisi yang selalu memerikan semangat pada penulis.
5. Seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi, nasihat, dan do'a kepada penulis.
6. Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., selaku pembimbing yang telah membantu, membimbing, dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu.

7. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc. PhD, selaku dosen penguji yang memberi masukan dan motifasi untuk menjadi penulis sebagai sosok yang lebih baik lagi.
8. Bapak Indra Sidarta, ST., MSc, selaku dosen penguji yang memberi masukan dan motifasi untuk menjadi penulis sebagai sosok yang lebih baik lagi.
9. Bapak Alief wikarta, ST, MSc. Eng PhD., selaku dosen penguji yang memberi masukan dan motifasi untuk menjadi penulis sebagai sosok yang lebih baik lagi.
10. Bapak Ir. Witantyo dan Bapak Atok selaku dosen pembimbing di Tim Sapuanging yang selalu menasihati dan memberikan wejangan wejangan yang membangun kepada Penulis.
11. Dan segenap dosen serta karyawan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmunya.
12. Haidir Ali Murtadlo dan Fatih Nurudin sebagai patner tugas akhir penulis yang berjuang bersama untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Selvi Kusrina Putri, yang membantu dan mensupport penulis dalam proses pembuatan buku ini hingga jadi. Tanpa Selvi mungkin penulis tidak bisa yudisium tepat pada waktunya ☺.
14. Iwed, Bella, Fira yang memberi semangat dan membantu mempermudah segala urusan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.
15. Keluarga besar ITS Team Sapuanging yang selalu memberi semangat pada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
16. Deva, Puja, Reynuh, Nico, Said, Ica yang menghibur penulis disela sela waktu pengerjaan tugas akhir ini.
17. Keluarga besar LBMM yang telah memberikan segala ilmunya kepada penulis, dan juga Bengkeler's 2012 (Budhals) yang memberikan suport kepada penulis.
18. Teman-teman angkatan 2012 "M55" yang penulis sayangi, yang telah membantu, berbagi ilmu, menjaga kebersamaan, berbagi kebahagiaan dan memberi motivasi kepada penulis.
19. Lab. Metalurgi Teknik Mesin, Lab Simanu Teknik mesin dan Lab. KSE Teknik Fisika yang mengizinkan penulis untuk

dapat menggunakan fasilitasnya dalam pengerjaan tugash akhir ini.

20. Serta semua pihak yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Sehingga dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan ke depannya.

Surabaya, Agustus 2016

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

<i>HALAMAN JUDUL</i>	<i>i</i>
<i>LEMBAR PENGESAHAN</i>	<i>iii</i>
<i>ABSTRAK</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vii</i>
<i>KATA PENGANTAR</i>	<i>ix</i>
<i>DAFTAR ISI</i>	<i>xiii</i>
<i>DAFTAR GAMBAR</i>	<i>xv</i>
<i>DAFTAR TABEL</i>	<i>xvii</i>

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Pokok permasalahan	3
1.3	Tujuan penelitian	4
1.4	Batasan masalah	4
1.5	Manfaat penulisan	5
1.6	Sistematika laporan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	<i>Student formula japan</i>	7
2.1.1	Sekilas tentang <i>student formula japan</i>	7
2.1.2	<i>Rule design chassis</i> dalam <i>student formula japan</i>	13
2.2	Kajian pustaka	20
2.2.1	Penelitian terdahulu	20
2.2.1.1	Perbandingan pengujian tabrakan kendaraan dengan kendaraan dan kendaraan dengan <i>barrier</i>	21
2.2.1.2	Penggunaan metode elemen hingga untuk analisa <i>collision</i>	21
2.2.1.3	<i>Impact attenuator</i>	23
2.2.2	Klasifikasi standar keamanan kendaraan	24
2.3	Dasar teori	25
2.3.1	Penggunaan metode elemen hingga untuk analisa <i>collision</i>	25

2.3.2	Teori tumbukan	28
2.3.3	Mekanisme uji tabrak kendaraan	32

BAB III METODOLOGI

3.1	Prosedur penelitian	31
3.2	Diagram alir penelitian	32
3.3	Mekanisme pengujian.....	36
3.4	Spesifikasi <i>chassis</i> sapuangin speed 4.....	39
3.5	Spesifikasi <i>impact attenuator</i>	35
3.6	Diagram alir permodelan	38
3.7	<i>Import geometri chassis</i> sapuangin speed	38
3.8	Input <i>properties</i> material	43
3.9	Proses meshing	44
3.10	Perhitungan pembebanan.....	41
3.11	Penentuan <i>initial condition</i>	42

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

4.1	Analisa deformasi <i>chassis</i> Sapuangin Speed 4.....	47
4.2	<i>Full widht frontal collision</i> menggunakan <i>impact attenuator</i>	49
4.3	<i>Full widht frontal collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	51
4.4	<i>Offset frontal collision</i> menggunakan <i>impact attenuator</i>	52
4.5	<i>Offset frontal collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	53
4.6	Analisa hasil simulasi	54
4.7	Tegangan yang terjadi pada <i>chassis</i> ketika <i>offset frontal collision</i> tanpa menggunakan <i>impact attenuator</i>	56
4.8	Interpretasi <i>collision</i> pada <i>barrier</i> dengan kemungkinan <i>collision</i> yang terjadi saat perlombaan	56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		60
BIODATA PENULIS		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Mobil formula SAE	8
Gambar 2. 2. Acceleration event Formula SAE Japan	8
Gambar 2. 3. Layout lintasan skidpad event	9
Gambar 2. 4. Layout Endurance.....	11
Gambar 2. 5. <i>Major chassis structure</i>	13
Gambar 2.6. Peraturan <i>chassis</i> bagian <i>front hoop</i> dan <i>main hoop</i> dengan posisi kepala pengemudi	15
Gambar 2.7. Peraturan <i>chassis</i> bagian <i>main hoop</i> dengan <i>supporting chassis</i>	15
Gambar 2.8. Peraturan <i>chassis</i> bagian <i>main hoop</i>	16
Gambar 2.9. Peraturan <i>chassis</i> untuk ukuran bagian <i>front hoop</i> dan <i>main hoop</i>	16
Gambar 2. 10. 95 th percentile male template	17
Gambar 2. 11. Luasan kokpit minimal pada desain <i>chassis</i>	17
Gambar 2. 12. Template untuk kokpit internal cross section	18
Gambar 2. 13. Grafik kecepatan dan perpindahan selama uji tabrakan kendaraan	19
Gambar 2. 14. Hasil simulasi dengan menggunakan <i>software</i>	21
Gambar 2. 15. Elemen <i>tetrahedron</i>	23
Gambar 2. 16. <i>Node</i> elemen <i>tetrahedron</i>	24
Gambar 3. 1. Full width frontal <i>collision</i> dengan <i>impact</i> <i>attenuator</i>	33
Gambar 3. 2. Full width frontal <i>collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	34
Gambar 3. 3. Offset frontal <i>collision</i> dengan <i>impact attenuator</i>	34
Gambar 3. 4. Offset frontal <i>collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	34
Gambar 3. 5. Geometri <i>chassis</i> Sapuangin Speed 4	35
Gambar 3. 6. Geometri <i>impact attenuator</i> menurut standar SAE.....	36
Gambar 3. 7. <i>High-impact polystyrene</i> dalam bentuk <i>foam</i>	37
Gambar 3. 8. Geometri <i>chassis</i> <i>sapuangin</i> untuk simulasi	39
Gambar 3. 9. Proses input properties material	40
Gambar 3.10. Hasil meshing <i>chassis</i> <i>sapuangin</i>	40

Gambar 3.11. Pemberian pembebanan pada chassis sapuangan speed	41
Gambar 3.12 Connection impact attenuator dan barrier	41
Gambar 3.13 Connection impact attenuator dan chassis	43
Gambar 3.14 Penentuan fix support	43
Gambar 3.15 Pemberian kecepatan awal tumbukan	44
Gambar 3.16 Pemberian waktu tumbukan	44
Gambar 3.17 Grafik dan turbular data untuk end time sebesar 0.004 detik	45
Gambar 4. 1. Posisi roda kemudi pada mobil formula sapuangan speed	47
Gambar 4. 2. Chassis sebelum terjadi collision.....	48
Gambar 4. 3. Chassis sesudah terjadi collision.....	48
Gambar 4. 4. Posisi koordinat pada bagian fronthub dan mainhub	34
Gambar 4.5. Posisi chassis dengan menggunakan impact attenuator sebelum full-width frontal collision	49
Gambar 4.6 Posisi chassis dengan menggunakan impact attenuator setelah full-width frontal collision	50
Gambar 4.7 Posisi chassis tanpa menggunakan impact attenuator sebelum full-width frontal collision	51
Gambar 4.8 Posisi chassis tanpa menggunakan impact attenuator setelah full-width frontal collision	51
Gambar 4.9 Posisi chassis dengan menggunakan impact attenuator sebelum offset frontal collision	52
Gambar 4.10 Posisi chassis dengan menggunakan impact attenuator setelah offset frontal collision	52
Gambar 4.11 Posisi chassis tanpa menggunakan impact attenuator sebelum offset frontal collision	53
Gambar 4.12 Posisi chassis tanpa menggunakan impact attenuator setelah offset frontal collision	54
Gambar 4.13 Hasil simulasi tegangan yang terjadi pada chassis	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Standar ketebalan untuk material steel dan alumunium	14
Tabel 2. 2. Hasil pengujian <i>impact attenuator</i>	22
Tabel 3. 1. Sifat mekanik <i>high-impact polystyrene</i>	37
Tabel 4. 1. Perhitungan perpindahan <i>fronthub</i> pada saat <i>full-widht frontal collision</i> dengan <i>impact attenuator</i>	50
Tabel 4. 2. Perhitungan perpindahan <i>fronthub</i> pada saat <i>full-widht frontal collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	51
Tabel 4. 3. Perhitungan perpindahan <i>fronthub</i> pada saat <i>offset frontal collision</i> dengan <i>impact attenuator</i>	53
Tabel 4. 4. Perhitungan perpindahan <i>fronthub</i> pada saat <i>offset frontal collision</i> tanpa <i>impact attenuator</i>	54
Tabel 4. 5. Hasil simulasi dari 4 variasi <i>collision</i>	55

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2016 ini, Tim Sapuangin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) kembali berpartisipasi di ajang *Student Formula Japan (SFJ)* di Shizuoka Ecopa Stadium Japan. Kompetisi SFJ ini merupakan salah satu kompetisi *Formula Student* yang diadakan oleh *Society of Automotive Engineering (SAE)* di Jepang atau biasa disebut *FSAE*. Dalam kompetisi ini terdiri dari *static event* dan *dynamic event*. *Static event* meliputi *design report*, *cost report* dan *business plan presentation*. Sedangkan *dynamic event* meliputi *acceleration test*, *skip pad*, *autocross*, *endurance* dan *efficiency*. Tahun ini merupakan tahun ke 4 untuk Tim Sapuangin ITS menjadi partisipan dalam kompetisi tersebut dengan mobil formula yang bernama Sapuangin Speed 4 dengan menggunakan *engine* berkapasitas 450 cc. Pembuatan mobil formula Sapuangin Speed dimulai dari proses perancangan kendaraan seperti *vehicle dynamic*, *chassis*, *body*, *engine*, *electrical* dan *drive train*. Salah satu faktor krusial dan penting yang memengaruhi keamanan kendaraan terletak pada *Chassis*.

Menurut **I Nyoman Sutantra (2009)** dalam bukunya menjelaskan *chassis* adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya sebagai rangka penguat konstruksi bodi kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban impact saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang. *Chassis* merupakan bagian terpenting dalam stabilitas dari sebuah kendaraan, karena semua komponen yang berkaitan dengan kestabilan menempel pada *chassis*. Beberapa diantaranya adalah suspensi, roda, *steering system*, *braking system*, dan tempat meletakkan *engine*.

Ada beberapa macam jenis *chassis* yang digunakan pada kompetisi SFJ ini, yaitu *monocoque* dan *tubular space frame*.

Monocoque merupakan jenis *chassis* dimana bagian bodi terluar kendaraan sekaligus menjadi kerangka kuat yang melindungi kabin kendaraan dari benturan. Keuntungan dari *monocoque* ini adalah bobotnya yang lebih ringan, efisiensi ruang perlindungan kabin dan lebih dapat melindungi pengemudi dari beban kejutan benturan saat tabrakan. Sedangkan *tubular space frame* mempunyai keunggulan struktur yang lebih kaku.

Tim-tim papan atas yang berlaga pada kompetisi SFJ ini memiliki bobot mobil sekitar 160 kilogram hingga 180 kilogram dengan berat *chassis* antara 25 kilogram hingga 30 kilogram. Tim peringkat pertama yaitu TU Graz Racing Team yang menggunakan *chassis* jenis *monocoque* dengan menggunakan material *composite* memiliki berat 22 kilogram dan Kyoto University menggunakan *chassis* tubular dengan bahan aluminium memiliki berat sekitar 30 kilogram. Sedangkan berat mobil Sapuagin 3 adalah 220 kilogram dengan berat *chassis* 45 kilogram. Agar dapat menambah performa dari kendaraan, perlu adanya pengurangan berat pada *chassis* dari mobil sapuagin yang akan datang. Salah satu cara mengurangi beban *chassis* adalah dengan mengganti material, yang awalnya menggunakan carbon steel menjadi aluminium.

Perancangan *chassis* merupakan hal penting dalam proses pembuatan mobil formula Sapuagin Speed. Karena mobil yang dilombakan pada kompetisi SFJ harus memiliki *chassis* yang ringan mungkin agar beban yang ditopang *engine* menjadi minimal. Akan tetapi *chassis* harus kuat untuk keamanan keselamatan *driver* ketika terjadi tabrakan. Misalnya saat pengujian dimana di *technical inspection*, ketika di pos pengereman yang mengharuskan mobil untuk melaju dalam kecepatan tinggi setelah itu harus berhenti pada tempat yang ditentukan dan ternyata rem dari mobil tersebut tidak berfungsi sehingga memungkinkan untuk menabrak pembatas lintasan pengujian. Dan juga saat *dynamic event* ketika mobil peserta yang berada di depan mobil tiba-tiba berhenti mendadak akibat

kesalahan engine atau papapun, maka memungkinkan mobil yang berada di belakangnya untuk menabrak.

Untuk itu perlu adanya suatu pengujian terhadap kendaraan untuk mengoptimalkan kekuatan dan berat dari *chassis*. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah uji tabrak kendaraan. Uji tabrak kendaraan mengukur kemampuan struktur kendaraan untuk menyerap energy kinetik yang ditimbulkan selama terjadi tabrakan (*collision*). Desain *chassis* yang baik dapat menyerap energi yang besar selama tabrakan (*collision*).

Salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam proses perancangan dan pengujian adalah ANSYS. Perangkat lunak ini dapat digunakan sebagai alternatif pengujian dengan metode elemen hingga. Pengujian ini dapat mengetahui deformasi yang terjadi pada *chassis* kendaraan selama terjadi tumbukan (*collision*).

1.2 Pokok Permasalahan

Design *chassis* dari mobil Sapuangin Speed 4 yang akan digunakan untuk kompetisi SFJ sudah memenuhi standar SAE yang diberikan, akan tetapi tidak ada standar pengujian khusus tentang keamanan *chassis* ketika terjadi tabrakan pada saat kompetisi. Karena itu, perlu adanya simulasi pengujian tabrak untuk *chassis* agar dapat mengetahui performa *chassis* yang akan digunakan. Uji tabrak kendaraan dapat menyajikan informasi yang penting mengenai performa keamanan dari suatu kendaraan apabila mengalami kecelakaan. Sehingga permasalahan dari penelitian ini adalah, bagaimana menyimulasikan uji tabrak *chassis* yang dapat mendekati kondisi sebenarnya dan apakah *chassis* Sapuangin Speed 4 yang sudah di design menurut standar SAE sudah cukup aman untuk keselamatan *driver*, serta seberapa besar pengaruh adanya *impact attenuator* terhadap defleksi dari *chassis*.

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisa deformasi yang terjadi pada *chassis* Sapuangan Speed 4 untuk beberapa jenis *collision* menggunakan *impact attenuator* dan tanpa *impact attenuator* menurut standar FMVSS 204 sehingga dapat menentukan apakah desain *chassis* kendaraan cukup aman jika mengalami *frontal collision*.
2. Mengetahui pengaruh *impact attenuator* terhadap besarnya defleksi pada *chassis* Sapuangan Speed 4 ketika terjadi *collision*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada analisis *collision* ini adalah :

1. Analisis dibatasi hanya pada *chassis* kendaraan Sapuangan Speed 4.
2. Kendaraan dianalisa dengan kondisi berjalan lurus dengan kecepatan konstan.
3. Sambunagn dari tiap join diasumsikan sempurna.
4. Material *chassis* menggunakan Aluminium Alloy.
5. Material *chassis* diasumsikan homogen.
6. Material *impact attenuator* menggunakan *high-impact polystyrene*.
7. Desain *chassis* berdasarkan aturan dari Rule SAE Internasional 2016.
8. Desain *impact attenuator* berdasarkan aturan dari Rule SAE Internasional 2016.
9. Batang kemudi dianggap rigid.

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian pada Tugas Akhir ini dapat dijadikan referensi untuk mendesain kendaraan yang lebih baik, demi kemajuan Tim Sapuangan ITS dan dunia otomotif di Indonesia.

2. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan di dunia otomotif dalam hal perancangan kendaraan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan proposal Tugas Akhir kali ini, sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Berisikan latar belakang, pokok permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penulisan serta sistematika laporan

Bab II Tinjauan Pustaka

Berisikan teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Bab III Metodologi

Berisikan prosedur pelaksanaan pengujian dan pengambilan data serta prosedur analisa.

BAB IV Pembahasan

Berisikan analisa data dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian tersebut.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan gambaran umum dari event *Student Formula Japan (SFJ)* yang akan diikuti oleh ITS Team Sapuangin Speed, kemudian beberapa referensi penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan dan beberapa dasar teori yang mendukung dan menunjang dalam penyelesaian analisa *collision* pada *chassis* aluminium mobil formula Sapuangin Speed.

2.1 *Student Formula Japan*

2.1.1 Sekilas Tentang *Student Formula Japan*

Student Formula Japan adalah sebuah kompetisi untuk mahasiswa yang diselenggarakan oleh SAE. Kompetisi ini dimulai sejak tahun 2003, dan pada tahun 2016 ini bertempat di sirkuit ECOPA (Ogasayama Sports Park), Shizuoka Prefecture, Japan. Pada kompetisi ini, mahasiswa dituntut untuk dapat mendesain dan membuat suatu kendaraan berupa mobil formula mini yang tentunya dapat bersaing di beberapa event yang sudah ditentukan.

Ada dua macam event dalam *Student Formula Japan*, yaitu *Static Event* dan *Dynamic Event*. *Static Event* meliputi *technical inspection*, *cost report*, *business plan presentation* dan *design report*. Serta *Dynamic Event* yang meliputi *acceleration*, *skid pad*, *autocross*, *endurance* dan *efficiency*. Karena juaranya ditentukan dari hasil akumulasi nilai dari kedua event ini. Ada banyak penghargaan diluar juara seperti *best rookie* untuk pendatang baru terbaik, dan masih banyak lagi. Adapun model kendaraan yang dikompetisikan dalam kejuaraan tersebut harus disesuaikan dengan peraturan yang ditetapkan oleh SAE seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mobil formula SAE
(<http://racing.tugraz.at/en/formula-student-uk-ruckblick/>)

Acceleration Event

Pada tahap *acceleration* ini bertujuan untuk mengevaluasi kecepatan kendaraan di lintasan lurus pada jalan datar sepanjang 75 meter. Pada event ini, mobil dituntut untuk berakselerasi dari keadaan diam untuk mencapai jarak tersebut dengan waktu secepat mungkin.



Gambar 2.2 *Acceleration event* Formula SAE Japan

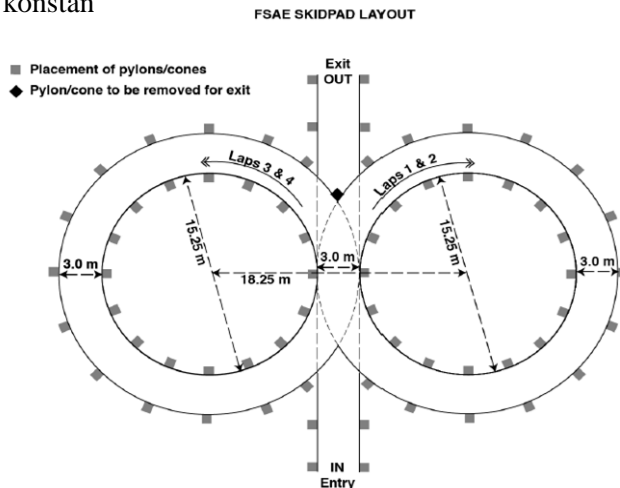
Ketentuan dalam *acceleration event* adalah sebagai berikut:

- Panjang lintasan *acceleration test* 75 m (82 yards) dari garis start sampai finish.

- Lebar jalan 4,9 m (16 ft).
- Cone diletakkan disepanjang pinggir lintasan dengan interval jarak 5 paces (20ft).
- Jarak bagian kendaraan yang terdepan 0,3 m (11,8 inches) dari garis start.
- Dalam tahap ini ada dua babak. Setiap babak harus mempunyai 2 *driver* yang berbeda.
- Urutan *start* berdasarkan waktu kedatangan di area *stage*.
- Babak pertama dan kedua diselenggarakan secara serentak.
- Point tertinggi adalah peserta dengan perolehan waktu tercepat.

Skidpad Event

Pada tahap skid-pad ini bertujuan untuk mengukur kemampuan belok kendaraan pada lintasan datar dengan radius belok konstan



Gambar 2.3 Layout lintasan skidpad event
(Formula SAE Rule International 2016)

Ketentuan *skidpad event* adalah sebagai berikut:

- Layout skidpad berdasarkan aturan Formula SAE Internasional.
- Garis diantara pusat lingkaran adalah garis start dan stop penghitungan waktu.
- Satu lap didefinisikan sebagai perjalanan mengelilingi satu lingkaran dari garis start/finish dan kembali ke garis start/finish.
- Lebar jalan adalah 3m.
- Terdapat 16 cone yang terletak di sisi dalam lingkaran dalam dan 13 cone yang terletak di bagian sisi lingkaran luar.
- Dilakukan dua kali pengujian secara berurutan.
- Kendaraan masuk lurus ke dalam lintasan ini dengan mengambil putaran pada lingkaran kanan sebanyak dua kali. Setelah itu langsung dilanjutkan dengan memutar lingkaran kiri sebanyak dua kali.
- Akan diambil waktu terbaik dari kedua putaran kanan dan kiri yang kemudian akan dirata-rata.
- Point yang didapatkan berdasarkan peringkat urutan waktu terbaik.

Autocross Event

Pada tahap ini pengemudi akan mengendarai kendaraan 1 putaran penuh sekitar 950 m yang meliputi lintasan lurus, tikungan dan slalom. Tujuannya untuk menguji kemampuan maneuver dari mobil yang sudah dibuat. Prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai :

- Layout dari lintasan ini sama seperti lintasan endurance.
- Spesifikasi lintasan terdiri dari :
 - Lintasan lurus : Tidak lebih panjang dari 60 m (200 feet) dengan belokan putar balik dengan panjang tidak lebih dari 45 m (150 feet).
 - Belokan konstan : Diameter 23m (75 feet) sampai 45 m (148 feet)
 - Belokan putar balik : Diameter luar minimum 9 m (29,5 feet)

Slalom : cone diletakkan segaris lurus dengan jarak spasi 7,62 m (25 feet) sampai 12,19 m (40 feet).

Miscellaneous : Lebar track minimum 3,5m (11,5 feet)

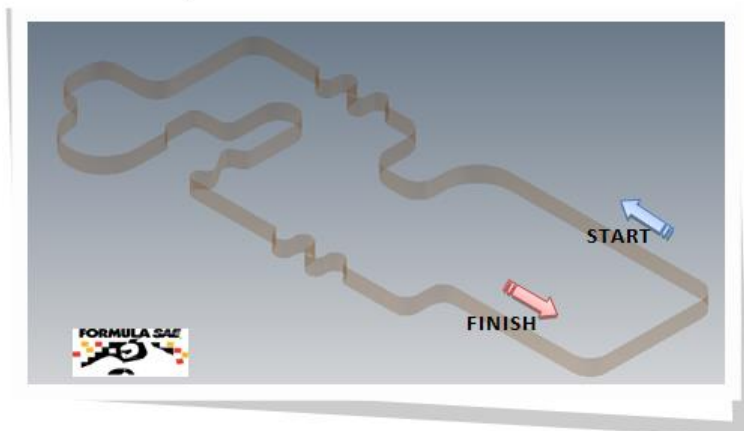
- Total panjang lintasan diperkirakan 0,805 km (0.5 mile)
- Terdiri dari 2 babak yang diselenggarakan secara serempak.
- Roda depan kendaraan berada 6 meter di belakang garis start. Pengambilan waktu dilakukan waktu kendaraan melewati garis start.

Penilaian pada tahap autocross berdasarkan waktu tempuh kendaraan dalam menempuh lintasan.

Endurance Event

Pada tahap ini pengemudi mengendarai kendaraan 20 putaran penuh dengan jarak 1000 m per putarannya, yang meliputi lintasan lurus, tikungan, dan slalom seperti halnya pada autocross event. Dengan tujuan menguji endurance dari driver dan mobil yang sudah di desain. Prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

- Gambaran layout Circuit Endurance



Gambar 2.4 Layout Endurance

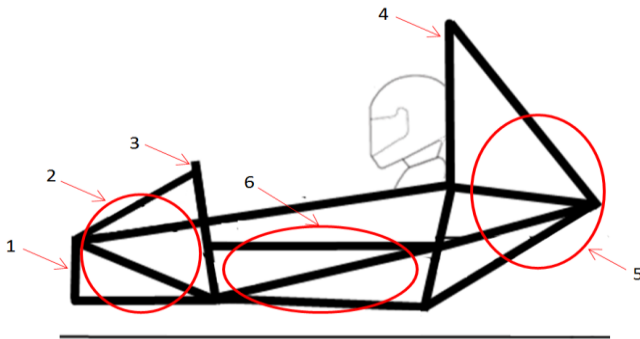
- Kecepatan rata-rata yang digunakan sebaiknya 48 km/jam sampai 57 km/jam dengan top speed 105 km/jam.
- Spesifikasi lintasan pada endurance event :
 Lintasan lurus : Tidak lebih dari 77 meter dengan putaran balik kendaraan yang terletak di ujung dengan lebar belokan 61 meter.
 Belokan konstan : Diameter 30 meter sampai 54 meter.
 Belokan putar balik: Diameter luar minimum 9 meter.
 Slalom : Cone diletakkan lurus dengan jarak spasi 9 meter sampai 15 meter.
 Miscellaneous : Dengan standart minimum lebar track 4,5 meter.
- Berlangsung selama satu babak dengan panjang lintasan 22 km.
- Pergantian driver berlangsung selama 3 menit, di titik tengah babak.

Penilaian pada tahap ini berdasarkan waktu tempuh terbaik kendaraan selama endurance event. Pada tahap inilah kemungkinan untuk collision terjadi, yaitu ketika mobil didepan tiba-tiba berhenti dan mobil yg berada di belakangnya melaju dengan kecepatan tinggi.

2.1.2 Rule Design Chassis dalam Student Formula Japan

Untuk menjamin keamanan dari pengemudi pada kendaraan yang akan dilombakan di kompetisi ini, dari pihak SAE sudah memberlakukan aturan dalam perancangan mobil. Rule dari SAE ini tidak hanya ditujukan untuk keselamatan saja, tetapi juga agar kendaraan yang sudah dibuat dapat menahan beban saat kendaraan sedang berakselerasi, bermanuver maupun saat deselerasi atau saat dilakukan pengereman. Rule design *chassis* yang digunakan dalam lomba SFJ kali ini adalah sesuai standar SAE International yang tiap tahunnya di berikan kepada para peserta perlombaan. Standar SAE untuk pembuatan *chassis* adalah sebagai berikut :

- Struktur *chassis* yang harus ada diantaranya adalah sebagai berikut:
 1. Bulkhead
 2. Fron roll hoop bracing& support
 3. Front roll hoop
 4. Main roll hoop
 5. Main roll hoop bracing & support
 6. Side impact structure



Gambar 2.5 *Major chassis structure*
(Formula SAE Rule International 2016)

Gambar di atas adalah struktur minimal yang harus ada dalam desain *chassis* Formula SAE. Struktur pendukung lainnya ditambahkan untuk menopang komponen lainnya seperti body, engine, drive train, steering, pedal dan juga beban yang terjadi saat kendaraan berjalan. Material yang digunakan sesuai standar Formula SAE yaitu carbon steel dengan kandungan karbon minimal 0,1% atau juga bisa menggunakan material alternative lainnya misalnya dengan aluminium.

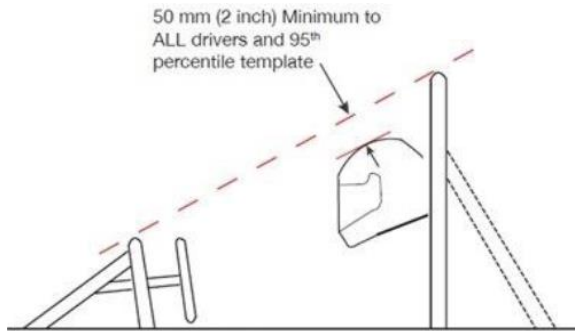
Di bawah ini merupakan perbandingan geometri minimal yang harus digunakan antara menggunakan material steel dan aluminium.

Table 2.1 Standar ketebalan untuk material steel dan alumunium
(Formula SAE Rule International 2016)

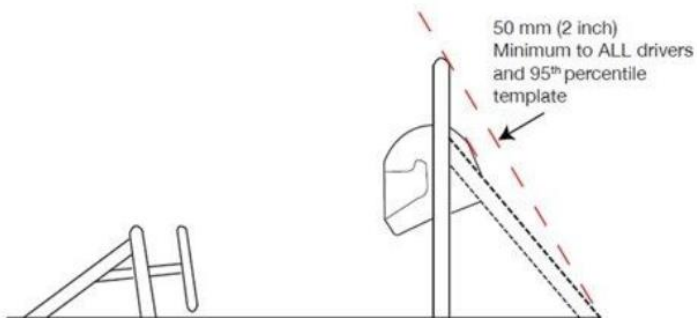
No	Nama	Ukuran minimal	
		Steel	Alluminium
1	Bulkhead	Ø25.4mm x 1.6mm Atau Ø25mm x 1.75mm Atau Square 25.0 mm x 25.0 mm x 1.20 mm	Ø25.4mm x 3mm
2	Front roll hoop bracing	Ø25.4mm x 1.6mm Atau Ø25mm x 1.75mm	Ø25.4mm x 3mm
3	Front roll hoop	Ø25.4mm x 2.4mm Atau Ø25mm x 2.5mm	Ø25.4mm x 3mm
4	Main roll hoop	Ø25.4mm x 2.4mm Atau Ø25mm x 2.5mm	Steel Ø25.4mm x 2.4mm Atau Ø25mm x 2.5mm
5	Main roll hoop bracing	Ø25.4mm x 1.6mm Atau Ø25mm x 1.75mm	Steel Ø25.4mm x 1.6mm Atau Ø25mm x 1.75mm
6	Side Impact	Ø25.4mm x 1.6mm Atau Ø25mm x 1.75mm	Ø25.4mm x 3mm

Selain ukuran minimal, geometry dari bagian kendaraan lain juga harus mempunyai struktur untuk memberikan safety pada pengendara. Semua komponen yang penting harus terlindung di dalam frame struktur dari *chassis*. Geometry yang harus ditaati dalam desain *chassis* Formula SAE ini antara lain adalah sebagai berikut :

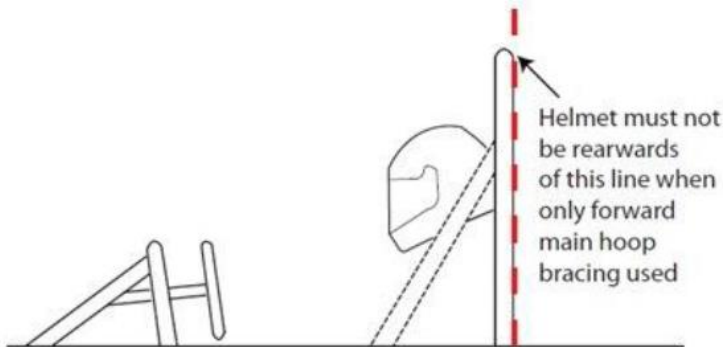
Front Hub and Main Hub Bracing



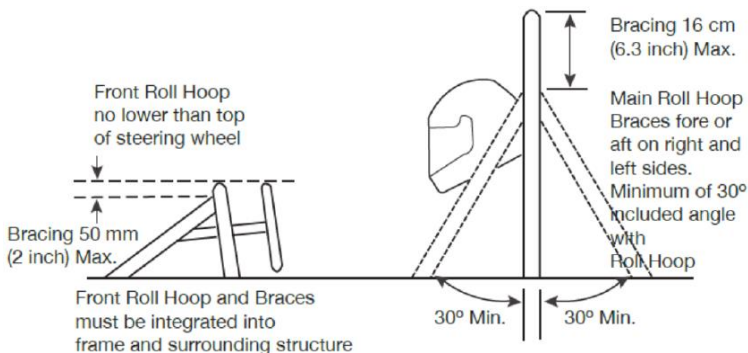
Gambar 2.6 Peraturan *chassis* bagian *front hoop* dan *main hoop* dengan posisi kepala pengemudi (Formula SAE Rule International 2016)



Gambar 2.7 Peraturan *chassis* bagian *main hoop* dengan *supporting chassis* (Formula SAE Rule International 2016)



Gambar 2.8 Peraturan *chassis* bagian *main hoop*
(Formula SAE Rule International 2016)

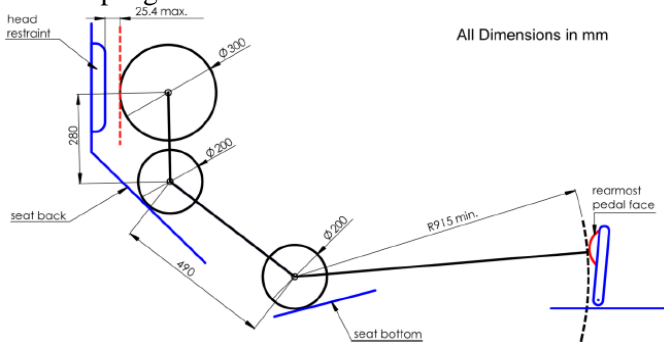


Gambar 2.9 Peraturan *chassis* untuk ukuran bagian *front hoop*
dan *main hoop*
(Formula SAE Rule International 2016)

95th percentile male template

95th percentile male template adalah template yang akan digunakan untuk menguji ruang *chassis* untuk pengendara pada saat technical inspection. Template ini merupakan referensi dari pengendara secara umum yang digunakan untuk mengukur

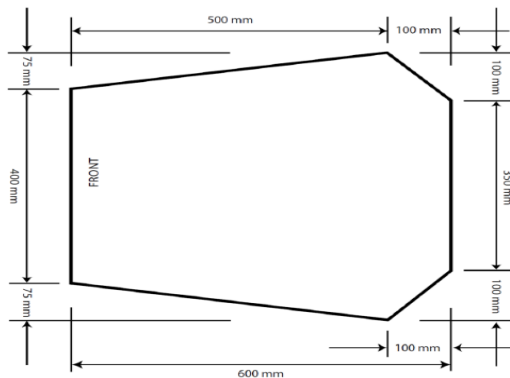
helmet clearance maupun untuk mengukur jarak pedal terhadap posisi duduk pengendara.



Gambar 2.10 95th percentile male template
(Formula SAE Rule International 2016)

Cockpit area

Area kokpit minimal yang diperbolehkan adalah berbentuk segi enam seperti pada gambar. Template ini akan dimasukkan ke dalam kokpit *chassis* saat technical inspection dalam arah vertical dari atas sampai di bawah permukaan *chassis* side impact paling atas.

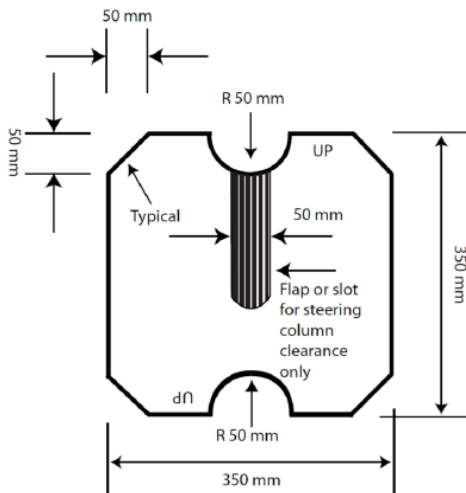


Gambar 2.11 Luasan kokpit minimal pada desain *chassis*
(Formula SAE Rule International 2016)

Cockpit internal cross section

Template *cockpit internal cross section* merupakan template batas minimal ruang kokpit untuk tempat kaki pengendara dari *front hub* sampai ke pedal. Template ini berbentuk segiempat dengan tinggi dan lebar 35 cm seperti pada gambar. Template ini akan dimasukkan ke dalam area front roll hoop sampai jarak 10 cm di depan pedal.

Lubang setengah lingkaran pada template bagian atas merupakan toleransi untuk penyangga dudukan poros steering. Dudukan penyangga poros steering harus berada di atas dari lubang setengah lingkaran tersebut.



Gambar 2.12 Template untuk kokpit internal cross section
(Formula SAE Rule International 2016)

2.2 Kajian Pustaka

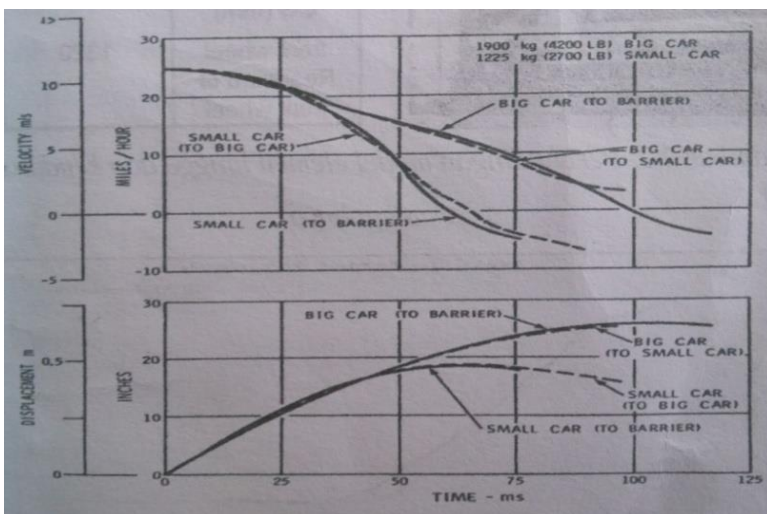
2.2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini diperlukan berbagai referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian tersebut yang akan dijabarkan antara lain penelitian mengenai

perbandingan pengujian tabrakan kendaraan dengan *barrier*, penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision* dan juga hasil penelitian tentang *impact attenuator* yang berfungsi sebagai *bumper* dari *chassis*.

2.2.1.1 Perbandingan pengujian tabrakan kendaraan dengan kendaraan dan kendaraan dengan *barrier*

Berdasarkan **Society of Automotive Engineers (SAE)** tabrakan frontal antara kedua kendaraan ekuivalen dengan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*. Dari tiga study kasus, tabrakan kendaraan berat dengan *barrier* memiliki durasi yang paling lama dan kendaraan kecil memiliki durasi yang paling kecil. Perbandingan hasil penelitian tabrakan kendaraan dengan kendaraan dan kendaraan dengan *barrier* dapat dilihat dari grafik di bawah ini.



Gambar 2.13 Grafik kecepatan dan perpindahan selama uji tabrakan kendaraan

1.2.1.2 Penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision*

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh **National Crash Analysis Center** mencoba membandingkan hasil pengujian tabrakan kendaraan sesungguhnya dengan model dari elemen hingga. Beberapa parameter yang diamati adalah bentuk deformasi yang terjadi, gerak umum kendaraan, energy yang diserap selama tabrakan dan *time history* dari beberapa lokasi komponen.

Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan kecil antara pengujian tabrak sesungguhnya dengan pengujian melalui simulasi menggunakan metode elemen hingga. Perbedaan kecil tersebut akibat dari sedikit perbedaan property dari kendaraan yang dimodelkan. Sehingga model elemen hingga dapat digunakan untuk mensimulasikan tabrakan kendaraan.

Penelitian mengenai penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision* dilakukan oleh **Mohd Novry Rahadia**, dalam *Analisa Collision pada kendaraan model van* telah melakukan penelitian tentang analisa frontal *collision* dengan metode *full width* dan *offset* pada bagian *chassis* kendaraan van Mitsubishi Colt T120ss. Dari penelitian Novry memberikan informasi bahwa perpindahan batang kemudi pada pengujian *offset frontal collision* lebih besar daripada pengujian *full width frontal collision*.

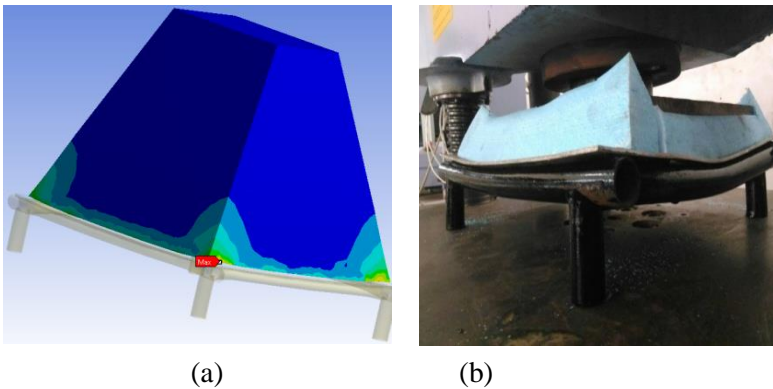
Agung Setyo Nugroho, dalam *Studi Kasus Collision pada Chassis Articulated Bus Dengan Metode Elemen Hingga* menyimpulkan bahwa dari hasil pengujian tabrakan dengan berbagai jenis kendaraan, didapatkan hasil bahwa *chassis* kendaraan uji mengalami perpindahan batang kemudi melebihi batas maksimum kemanan yang diijinkan yaitu 127 mm. Tetapi *chassis* kendaraan bagian belakang tidak mengalami kerusakan sewaktu terjadi tabrakan.

Berdasarkan ketiga penelitian yang sudah dilakukan, pada penelitian *collision chassis* Sapuagin Speed 4 kali ini akan menggunakan metode finite elemen untuk mensimulasikan

collision yang terjadi. Jenis *collision* yang akan diujikan sama dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh Novry dan Agung yaitu full-widht frontal *collision* dan offset frontal *collision*. Variasi yang akan digunakan yaitu penambahan *impact attenuator* yang digunakan sebagai *bumper* untuk *chassis* Sapuangin Speed 4.

2.2.1.3 *Impact Attenuator*

Impact attenuator berfungsi sebagai *bumper* dari kendaraan formula pada kompetisi SFJ. Geometri dari *impact attenuator* sudah tertera pada rule SAE yang berlaku di kompetisi ini. Penelitian mengenai *impact attenuator* telah dilakukan oleh **Najihun Gulam Halim** dalam *Studi Eksperimen dan Pemodelan Finite Elemen Material Polystyrene untuk Impact Attenuator Kendaraan Sapauangin Speed*. Pengujian *impact attenuator* yang telah dilakukan yaitu dengan metode quaci statis, berikut merupakan gambar dari penelitian tersebut.



Gambar 2.14 (a) hasil simulasi dengan menggunakan *software*
(b) hasil percobaan dengan metode quaci statis

Dari hasil pengujian yang dilakukan, energy yang diserap dan deformasi yang dihasilkan dari *impact attenuator* adalah sebagai berikut :

Table 2.2 Hasil pengujian *impact attenuator*

Metode	Energi (J)	Deakselerasi (g's)		Deformasi Anti-Intrusion Plate (mm)
		Maksimum	Rata-Rata	
Pengujian Eksperimen	12403.1	4.108	1.510	11.1
Simulasi <i>Finite Element Method</i>	12405	4.215	2.799	5.8

Anti-intrusion plate merupakan plat yang digunakan untuk menghubungkan *impact attenuator* dengan *chassis* kendaraan. Deformasi yang diizinkan pada *anti-intrusion plate* adalah sebesar 1 inch atau 25,4 mm, berdasarkan hasil tersebut maka *impact attenuator* sudah memenuhi standar sebagai *bumper* dari *chassis* kendaraan Sapuangin Speed.

2.2.2 Klasifikasi Standar Keamanan Kendaraan

Ada berbagai jenis standar keamanan yang digunakan, salah satunya adalah Federal Motor Savety Standar (FMVSS). Standar keamanan tersebut dapat diklasifikasikan kedalam 4 jenis yaitu :

- FMVSS 201-205, 208, 210, 212, 214, 216
Standar untuk mengurangi terjadinya luka-luka
- FMVSS 205, 206, 212
Standar untuk mengurangi kemungkinan penumpang terlempar dari kendaraan
- FMVSS 207, 210

Standar untuk meyakinkan kekuatan dan keamanan dari komponen

- FMVSS 301

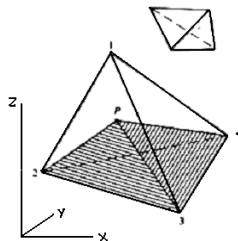
Standar untuk meminimalkan resiko kebakaran

Pada penelitian ini uji tabrakan kendaraan yang akan digunakan adalah **FMVSS 204**. FMVSS 204 adalah aturan tentang keamanan batang dan lingkaran kemudi agar pengemudi tidak terluka saat terjadi tabrakan. Standar ini mensyaratkan bahwa jika kendaraan penumpang, truk atau bus yang memiliki berat kendaraan sebesar 4.536 kg atau dibawahnya dan kendaraan tidak bermuatan dengan berat 2.496 kg atau dibawahnya, jika ditabrakkan pada beton massive dengan kecepatan 48 km/jam maka lingkaran kemudi tidak boleh bergerak mundur melebihi 127mm pada sumbu horizontal dari kendaraan tersebut. Besarnya perpindahan harus diukur relatif terhadap titik yang terganggu pada kendaraan dan akan mewakili perpindahan dinamis maksimum dari utung atas roda kemudi dan poros kemudi selama *collision* tes dilakukan.

2.3 Dasar Teori

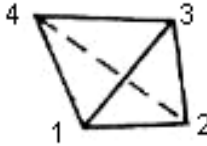
2.3.1 Penggunaan metode elemen hingga untuk analisa *collision*

Elemen *tetrahedron* adalah elemen yang paling mudah untuk dibentuk dalam suatu model matematika.



Gambar 2.15 Elemen *tetrahedron*

Elemen *tetrahedron* seperti pada gambar 2.15 yang digunakan dalam analisa distribusi tegangan pada *chassi* smobil *formula* sapuaingin speed ini adalah jenis *Four Corner Node 12 DOF Constant Strain Tetrahedron*. Elemen ini memiliki 4 *node* dengan masing-masing *node* memiliki 3 *DOF* (u, v, dan w) seperti yang dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.16 Nodeelemen *tetrahedron*

Matrik kekakuan pada elemen *tetrahedron* didapatkan dengan menggunakan persamaan : $[k] = \int_V [A]^T [C] [A] dV$

dimana :

$$[A] = [G][B]^{-1}$$

dengan memasukan $[A]$ maka akan didapat :

$$[k] = ([B]^{-1})^T \left[\int_V [G]^T [C] [G] dV \right] [B]^{-1}$$

Kemudian setelah mendapatkan matrik kekakuan, kemudian matrik beban total dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\{F\} = [k]\{q\} - \{F^1\}$$

dengan memasukan harga $[k]$ dan $\{q\}$ maka didapat :

$$\{F^1\} = ([B]^{-1})^T \int_V [G]^T [C] \{\varepsilon^1\} dV$$

dengan integrasi volume dalam koordinat polar didefinisikan:

$$V = \iiint dV = \iiint r d\theta dz dr = 2\pi \iint r dr dz$$

Pada elemen *tetrahedron*, *displacement component* diasumsikan merupakan fungsi linier dari koordinat *tetrahedral*. Sehingga

komponen displacement pada elemen *tetrahedron* dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$u = \xi_1 u_1 + \xi_2 u_2 + \xi_3 u_3 + \xi_4 u_4 = \sum_{i=1}^4 N_i u_i$$

$$v = \xi_1 v_1 + \xi_2 v_2 + \xi_3 v_3 + \xi_4 v_4 = \sum_{i=1}^4 N_i v_i$$

$$w = \xi_1 w_1 + \xi_2 w_2 + \xi_3 w_3 + \xi_4 w_4 = \sum_{i=1}^4 N_i w_i$$

dengan :

$$\xi_i = \frac{1}{6V} (\alpha_i + \beta_i x + \gamma_i y + \delta_i z) \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 6V$$

$$\xi_1 = \frac{V_1}{V} \quad \xi_2 = \frac{V_2}{V} \quad \xi_3 = \frac{V_3}{V} \quad \xi_4 = \frac{V_4}{V}$$

dimana :

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = V \quad \text{dan} \quad \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 1$$

Setelah mendefinisikan *displacement component* dari *node* pada elemen *tetrahedron*, kemudian dapat didefinisikan persamaan *strain-displacement* untuk koordinat *tetrahedral* sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_x & 0 & 0 \\ 0 & N_y & 0 \\ 0 & 0 & N_z \\ N_y & N_x & 0 \\ 0 & N_z & N_y \\ N_z & 0 & N_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [A]\{q\} \quad \text{dengan } N \text{ adalah shape function}$$

Pada akhirnya setelah mendefinisikan regangan kemudian akan didapat hubungan antara tegangan dan regangan 3 dimensi (*three-*

dimensional stress-strain) untuk material *isotropic*, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix}$$

2.3.2 Teori Tumbukan

Tumbukan yang paling sederhana adalah tumbukan sentral. Tumbukan sentral adalah tumbukan yang terjadi bila titik pusat benda yang satu menuju ke titik pusat benda yang lain. Banyak kejadian dalam kehidupan sehari-hari yang dapat dijelaskan dengan konsep momentum dan impuls. Di antaranya peristiwa tumbukan antara dua kendaraan. Salah satu penggunaan konsep momentum yang penting adalah pada persoalan yang menyangkut tumbukan. Misalnya tumbukan antara partikel-partikel gas dengan dinding tempat gas berada. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan sifat-sifat gas dengan menggunakan analisis mekanika.

Berdasarkan sifat kelentingan atau elastisitas benda yang bertumbukan, tumbukan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian, dan tumbukan tidak lenting sama sekali.

Tumbukan Lenting Sempurna

Tumbukan lenting sempurna (elastik) terjadi di antara atom-atom, inti atom, dan partikel-partikel lain yang seukuran dengan atom atau lebih kecil lagi. Dua buah benda dikatakan mengalami tumbukan lenting sempurna jika pada tumbukan itu tidak terjadi kehilangan energi kinetik. Jadi, energi kinetik total

kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah tetap. Oleh karena itu, pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Tumbukan lenting sempurna hanya terjadi pada benda yang bergerak saja.

Dua buah benda memiliki massa masing-masing m_1 dan m_2 bergerak saling mendekati dengan kecepatan sebesar v_1 dan v_2 sepanjang lintasan yang lurus. Setelah keduanya bertumbukan masing-masing bergerak dengan kecepatan sebesar v'_1 dan v'_2 dengan arah saling berlawanan. Berdasarkan hukum kekekalan momentum dapat ditulis sebagai berikut.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

$$m_1 v_1 - m_1 v'_1 = m_2 v'_2 - m_2 v_2$$

$$m_1 (v_1 - v'_1) = m_2 (v'_2 - v_2)$$

Sedangkan berdasarkan hukum kekekalan energi kinetik, diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k1} + E'_{k2}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 (v'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2$$

$$m_1 ((v'_1)^2 - (v_1)^2) = m_2 ((v'_2)^2 - (v_2)^2)$$

$$m_1 (v_1 + v'_1)(v_1 - v'_1) = m_2 (v'_2 + v_2)(v'_2 - v_2)$$

Jika persamaan di atas saling disubstitusikan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$m_1 (v_1 + v'_1)(v_1 - v'_1) = m_1 (v'_2 + v_2)(v_1 - v'_1)$$

$$v_1 + v'_1 = v'_2 + v_2$$

$$v_1 - v_2 = v'_2 - v'_1$$

$$-(v_2 - v_1) = v'_2 - v'_1$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa pada tumbukan lenting sempurna kecepatan relatif benda sebelum dan sesudah tumbukan besarnya tetap tetapi arahnya berlawanan.

Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan jenis ini, kecepatan benda-benda sesudah tumbukan sama besar (benda yang bertumbukan saling melekat).

Misalnya, tumbukan antara peluru dengan sebuah target di mana setelah tumbukan peluru mengeram dalam target. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

Jika $v'_1 = v'_2 = v'$, maka $m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$

Contoh tumbukan tidak lenting sama sekali adalah ayunan balistik. Ayunan balistik merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk mengukur benda yang bergerak dengan kecepatan cukup besar, misalnya kecepatan peluru. Prinsip kerja ayunan balistik berdasarkan hal-hal berikut.

a) Penerapan sifat tumbukan tidak lenting.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$$

$$m_1v_1 + 0 = (m_1 + m_2)v'$$

$$v_1 = \frac{m_1m_2}{m_1}v'$$

b) Hukum kekekalan energi mekanik

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)(v')^2 = (m_1 + m_2)gh$$

$$v' = \sqrt{2gh}$$

Jika persamaan pertama disubstitusikan ke dalam persamaan kedua, maka diketahui kecepatan peluru sebelum bersarang dalam balok.

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1}\sqrt{2gh} \text{ atau } v_p = \frac{m_p + m_b}{m_p}\sqrt{2gh}$$

Tumbukan Lenting Sebagian

Kebanyakan benda-benda yang ada di alam mengalami tumbukan lenting sebagian, di mana energi kinetik berkurang selama tumbukan. Oleh karena itu, hukum kekekalan energi mekanik tidak berlaku. Besarnya kecepatan relatif juga berkurang dengan suatu faktor tertentu yang disebut koefisien

restitusi. Bila koefisien restitusi dinyatakan dengan huruf e , maka derajat berkurangnya kecepatan relatif benda setelah tumbukan dirumuskan sebagai berikut.

$$e = -\frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1}$$

Nilai restitusi berkisar antara 0 dan 1 ($0 \leq e \leq 1$). Untuk tumbukan lenting sempurna, nilai $e = 1$. Untuk tumbukan tidak lenting nilai $e = 0$. Sedangkan untuk tumbukan lenting sebagian mempunyai nilai e antara 0 dan 1 ($0 < e < 1$). Misalnya, sebuah bola tenis dilepas dari ketinggian h_1 di atas lantai. Setelah menumbuk lantai bola akan terpental setinggi h_2 , nilai h_2 selalu lebih kecil dari h_1 .

Coba kita perhatikan gambar di atas. Kecepatan bola sesaat sebelum tumbukan adalah v_1 dan sesaat setelah tumbukan v_1 . Berdasarkan persamaan gerak jatuh bebas, besar kecepatan bola memenuhi persamaan :

$$v = \sqrt{2gh}$$

Untuk kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan sama dengan nol ($v_2 = v'_2 = 0$). Jika arah ke benda diberi harga negatif, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$v_1 = -\sqrt{2gh_1}$$

Persamaan di atas digunakan untuk tumbukan lenting sebagian

2.3.3 Mekanisme Uji Tabrak Kendaraan

Ada berbagai macam mekanisme uji tabrak kendaraan, salah satunya yaitu uji tabrak kendaraan dengan penghalang (*barrier*). Uji tabrak kendaraan dengan *barrier* ini merupakan metode yang efektif untuk menganalisa kekuatan struktur kendaraan apabila terjadi tabrakan. Berdasarkan SAE, tabrakan frontal antara kedua kendaraan ekuivalen dengan tabrakan antara kendaraan tunggal dengan *fixed rigid barrier concrete*. Keidentikan *barrier impact* dapat digunakan untuk menunjukkan

dan mengevaluasi perilaku kendaraan sewaktu mengalami tabrakan dengan kendaraan lain.

Ekivalensi barrier *barrier impact* ditentukan dengan tumbukan antara kendaraan dengan *barrier* dimana perubahan momentum atau energy yang diserap kendaraan sama dengan *collision* kendaraan dengan kendaraan. Dengan mengasumsikan bahwa setiap kendaraan yang mengalami *collision* memiliki deformasi plastis, maka dengan menggunakan prinsip kekekalan momentum akan didapatkan kecepatan ekivalen *barrier impact* berdasarkan perubahan momentum antara kendaraan 1 dengan kendaraan 2.

$$V_{lebm} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2)$$

Dimana :

V_{lebm} : kecepatan *collision* dari kendaraan pertama terhadap barrier

m_1 : massa dari kendaraan pertama

m_2 : massa dari kendaraan kedua

$V_1 - V_2$: *closing speed* dari dua kendaraan yang mengalami *collision*

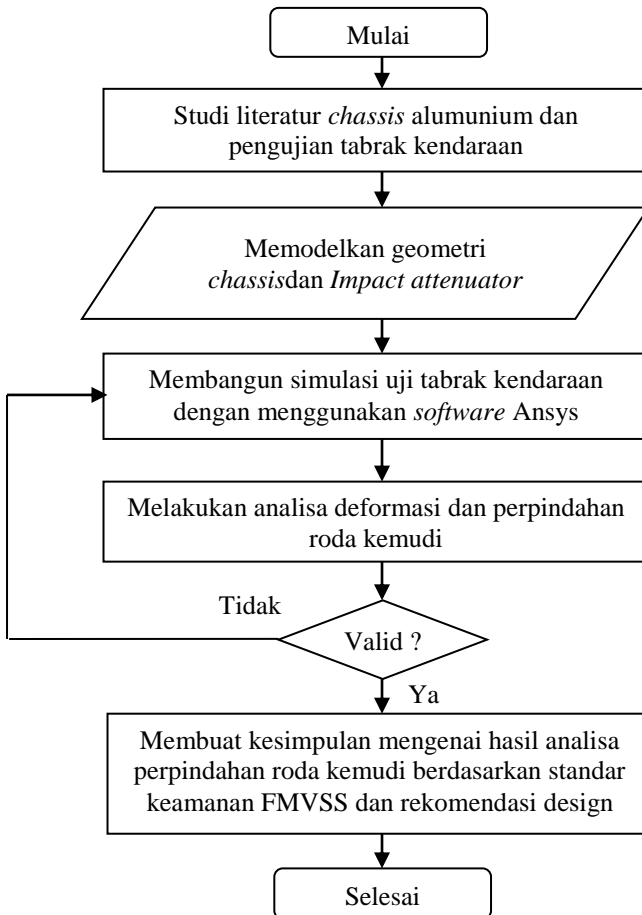
BAB III METODOLOGI

3.1 Prosedur penelitian

Pada penulisan tugas akhir kali ini, prosedur penelitian akan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur tentang *chassis* alumunium yang digunakan di perlombaan SFJ, *impact attenuator* yang juga digunakan di perlombaan SFJ sebagai bumper dari *chassis*, standar pengujian tabrak kendaraan dan penggunaan *software* Ansys untuk simulasi uji tabrak kendaraan dan standar keamanan kendaraan yang akan digunakan.
2. Memodelkan geometri 3D *chassis* Sapuagin Speed 4 dengan *software* CAD, yang akan dilakukan uji tabrak beserta *impact attenuator*.
3. Membangun simulasi pengujian tabrakan *chassis* Sapuagin Speed 4 dengan *software* Ansys untuk full width frontal *collision* dan offset frontal *collision* dengan menggunakan *impact attenuator* dan tanpa *impact attenuator*.
4. Menganalisa deformasi pada *chassis* dan jarak perpindahan roda kemudi pada kendaraan.
5. Membuat kesimpulan dari hasil analisa perpindahan roda kemudi berdasarkan standar keamanan FMVSS 204

3.2 Diagram Alir Penelitian



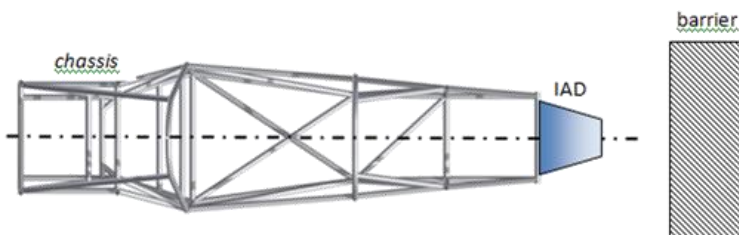
3.3 Mekanisme Pengujian

Pada pengujian *collision* kali ini dilakukan dengan simulasi dengan dua metode, yaitu full width frontal *collision* dan offset frontal *collision*. Dua jenis frontal *collision* ini merupakan

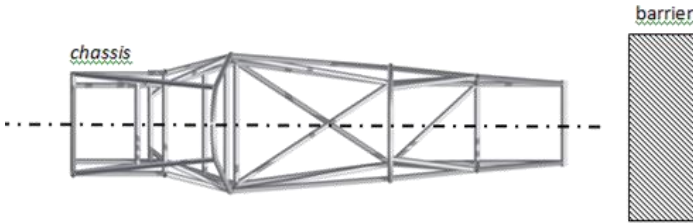
collision yang memungkinkan untuk terjadi pada ajang perlombaan SFJ. Berat mobil di perlombaan SFJ ini bisa dikatakan seragam, karena perbedaan berat mobil dengan mobil lain tidak begitu signifikan dan juga *collision* yang terjadi diakibatkan tabrakan dengan pembatas lintasan ataupun dengan bagian belakang mobil lain yang tiba-tiba berhenti saat. Sehingga tabrakan bisa dimodelkan dengan tabrakan kendaraan dengan *barrier*. Deformasi yang terjadi pada roda kemudi tergantung dari metode *collision* yang akan digunakan dan variasi kecepatan dari kendaraan. Variasi *collision* yang akan dianalisa adalah sebagai berikut :

1. Full width frontal *collision* menggunakan *impact attenuator* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)
2. Full width frontal *collision* tanpa *impact attenuator* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)
3. Offset frontal *collision* menggunakan *impact attenuator* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)
4. Offset frontal *collision* tanpa *impact attenuator* dengan kecepatan 48.3 km/jam atau 13.417 m/s (FMVSS 204)

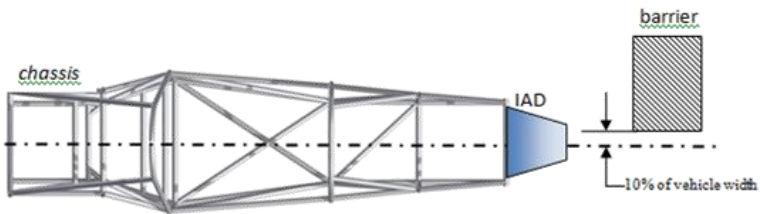
Skema dari kedua metode *collision* yang akan di uji adalah sebagai berikut :



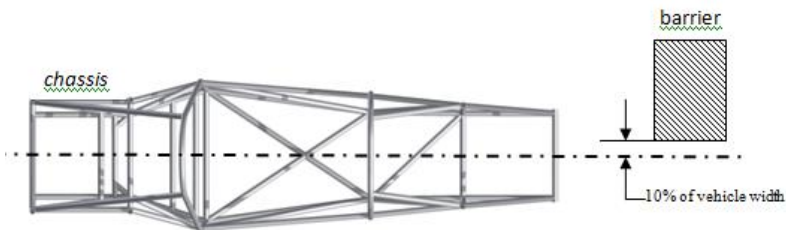
Gambar 3.1 Full width frontal *collision* dengan *impact attenuator*



Gambar 3.2 Full width frontal *collision* tanpa *impact attenuator*



Gambar 3.3 Offset frontal *collision* dengan *impact attenuator*



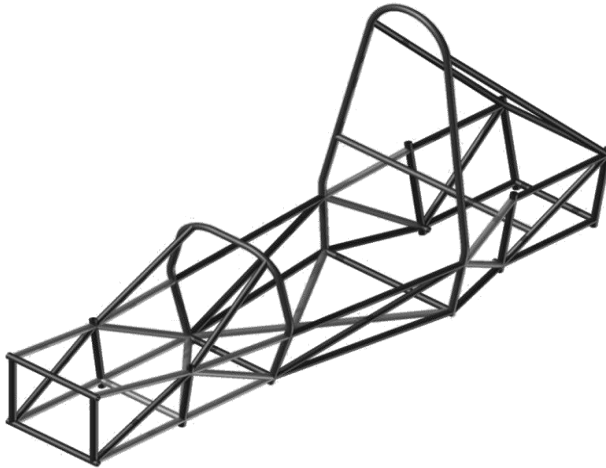
Gambar 3.4 Offset frontal *collision* tanpa *impact attenuator*

3.4 Spesifikasi Chassis Sapuagin Speed 4

Spesifikasi untuk model *chassis* Sapuagin speed 4 adalah sebagai berikut :

Panjang	: 2249.4	mm
Lebar	: 654,524	mm
Massa kendaraan	: 300	kg

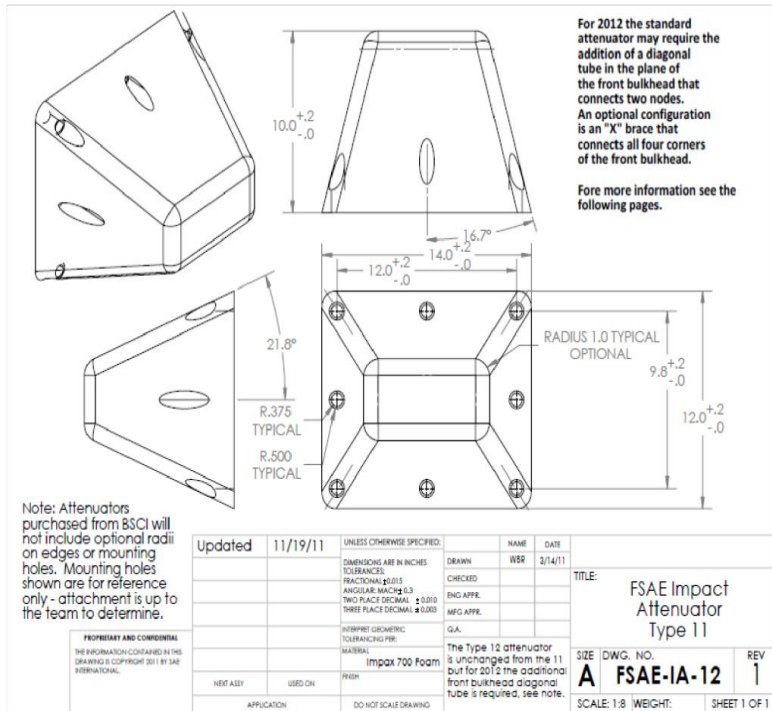
Ketentuan lain sesuai standar SAE sudah tertera pada bab sebelumnya. Berikut ini merupakan detail geometri *chassis* Sapuagin Speed 4 yang sudah sesuai dengan standar SAE



Gambar 3.5 Geometri *chassis* Sapuagin Speed 4

3.5 Spesifikasi Impact Attenuator

Spesifikasi *impact attenuator* yang telah ditetapkan dalam rule SAE adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6 Geometri *impact attenuator* menurut standar SAE

Material yang digunakan adalah *high-impact polystyrene* (HIPS). *High-impact polystyrene* telah terbukti memiliki nilai ketangguhan yang lebih tinggi daripada *polystyrene*, seperti pada gambar 2.10. Adapun bentuk HIPS yang digunakan adalah *foam* dengan massa jenis 45 kg/ m³. Properti dari *high-impact polystyrene* dapat dilihat pada tabel 3.1

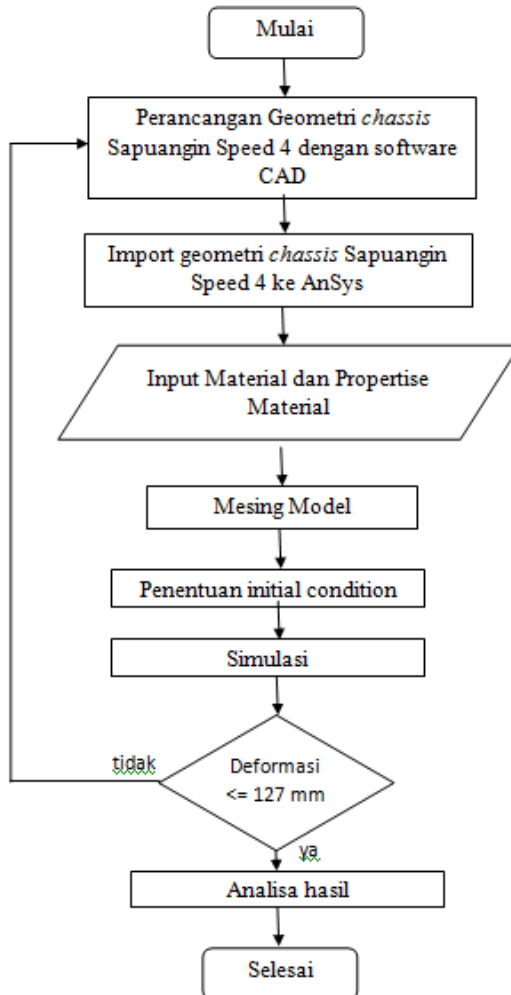


Gambar 3.7 *High-impact polystyrene* dalam bentuk *foam*

Tabel 3.1 Sifat mekanik *high-impact polystyrene*

Sifat Mekanik	
Massa jenis	45 kg/m ³
Konduktivitas thermal	0.033 W/(m.K)
Modulus Young	3000 MPa
Kekuatan tarik	60 MPa
Poisson's ratio	0.34
Panas spesifik	1.3 kJ/(kg.K)

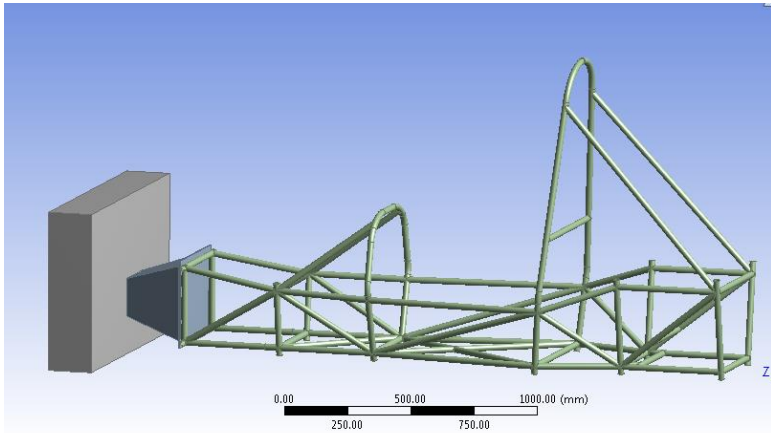
3.6 Diagram Alir Permodelan



3.7 Import Geometri Chassis Sapuangin Speed

Proses pertama yaitu mendesign geometri dari *chassis* sapuangin speed beserta poros dan roda kemudi, *impact*

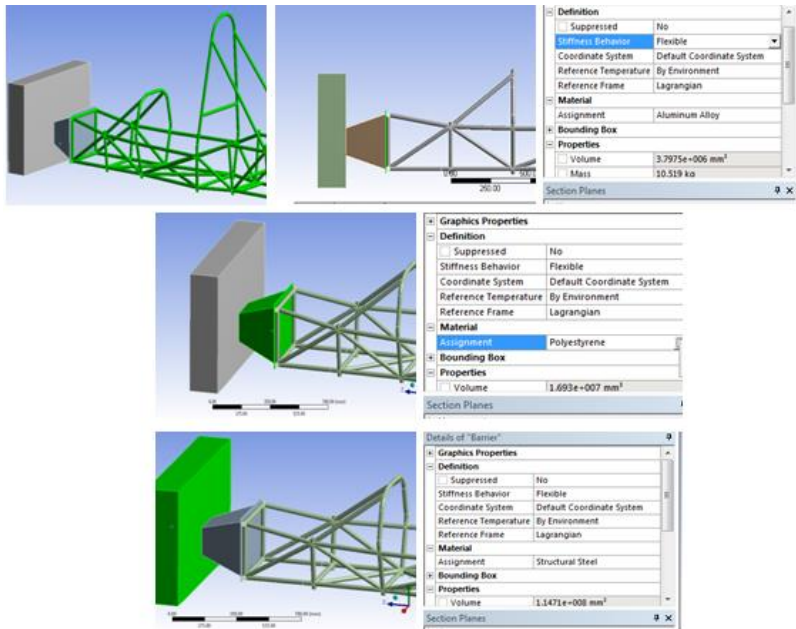
attenuator dan *barrier* dengan menggunakan software CAD. Kemudian import geometri tersebut ke Ansys untuk dilakukan simulasi.



Gambar 3.8 Geometri *chassis sapuan* untuk simulasi

3.8 Input Properties Material

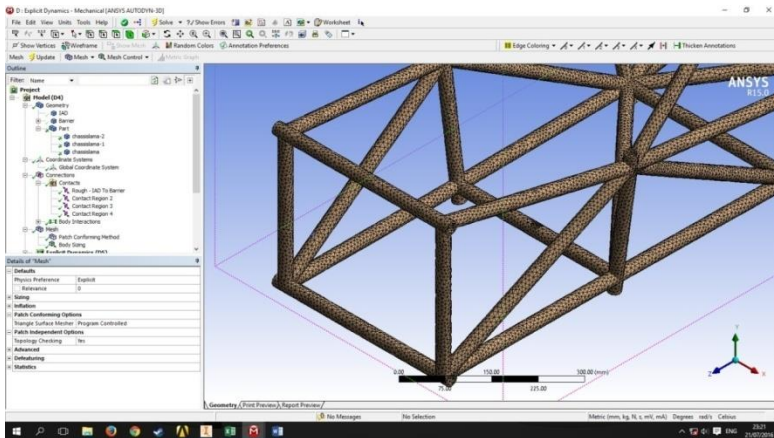
Kemudian input properties material. Material *chassis* yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah Aluminium sedangkan material *barrier* menggunakan default carbon steel yang sudah disediakan oleh software. *Barrier* dianggap sebagai fix rigid body. Sedangkan untuk *impact attenuator* menggunakan material *high-impact polystyrene* dengan sifat mekanik yang sudah tertera pada table 3.1 dan *anti-intrusion plate* pada *impact attenuator* menggunakan material Aluminium.



Gambar 3.9 Proses input properties material

3.9 Proses Meshing

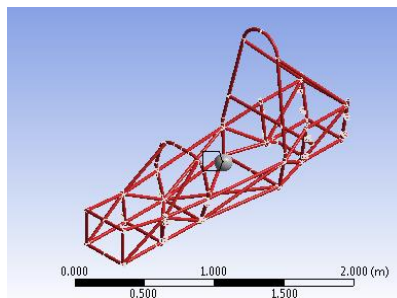
Setelah geometri dan material dimasukkan, maka dilakukan meshing pada *chassis* kendaraan. Meshing merupakan pembagian model menjadi elemen-elemen. Elemen yang akan digunakan pada meshing pada *chassis* adalah elemen berbentuk tetrahedral. Berikut ini merupakan hasil meshing dari *chassis* Sapuangan Speed 4.



Gambar 3.10 Hasil meshing *chassis* sapuangan

3.10 Perhitungan Pembebanan

Sebelum simulasi dimulai, perlu dilakukan untuk perhitungan pembebanan untuk kondisi *collision* yang kemungkinan terjadi. Pemberian beban berupa pembebanan yang diakibatkan oleh kecepatan awal dan beban total kendaraan yang diberika pada *chassis*. Besarnya kecepatan tergantung pada jenis *collision*nya. Massa total kendaraan sebesar 300kg sudah termasuk berat *driver*.



Gambar 3.11 Pemberian pembebanan pada *chassis* sapuangan speed

Berikut merupakan perhitungan pembebanan kecepatan awal.

$$V_{lebm} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_1 - V_2)$$

Dimana :

- V_{lebm} : kecepatan *collision* dari kendaraan pertama terhadap barrier
 m_1 : massa dari kendaraan pertama
 m_2 : massa dari kendaraan kedua
 $V_1 - V_2$: *closing speed* dari dua kendaraan yang mengalami collision

Pada kompetisi SFJ ini, berat mobil bisa diasumsikan seragam, karena perbedaan berat antara mobil satu dan lainnya tidak begitu signifikan. dan tabrakan frontal terjadi antara kendaraan bagian depan kendaraan dengan bagian belakang kendaraan yang ada di depannya. Dari hasil perhitungan :

- Kendaraan yang berada di depan diam saat terjadi *collision*, mempunyai closing speed sebesar :

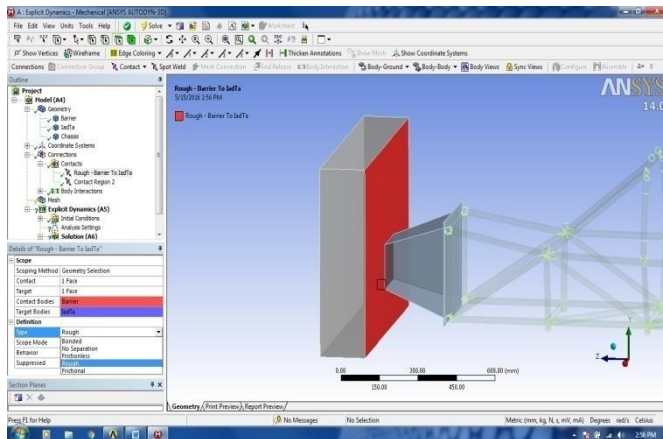
$$48 \text{ km/jam} = \frac{300 \text{ kg}}{300 \text{ kg} + 300 \text{ kg}} (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 = 96 \text{ km/jam}$$

3.11 Penentuan *Initial Condition*

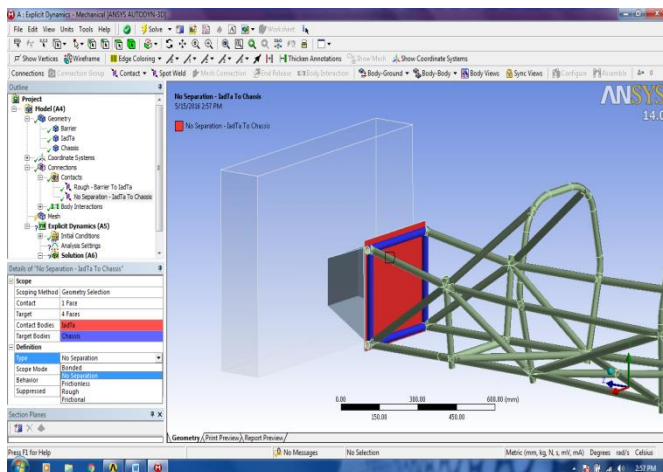
Keadaan awal yang akan diberikan yaitu :

1. Connection pada *barrier* dan *impact attenuator*



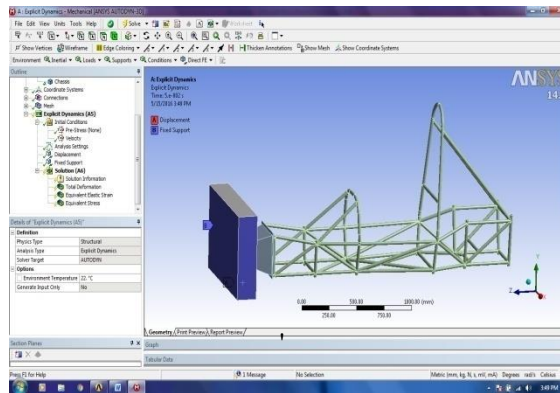
Gambar 3.12 Connection impact attenuator dan barrier

2. Connection pada impact attenuator dan chassis



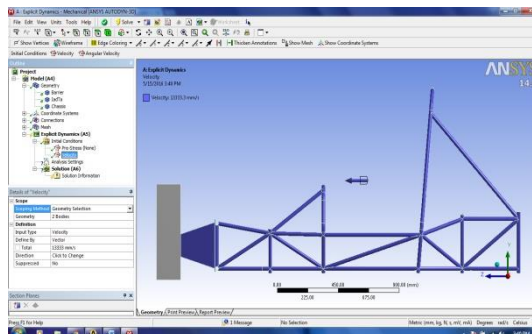
Gambar 3.13 Connection impact attenuator dan chassis

3. *Fix support pada barrier*



Gambar 3.14 Penentuan *fix support*

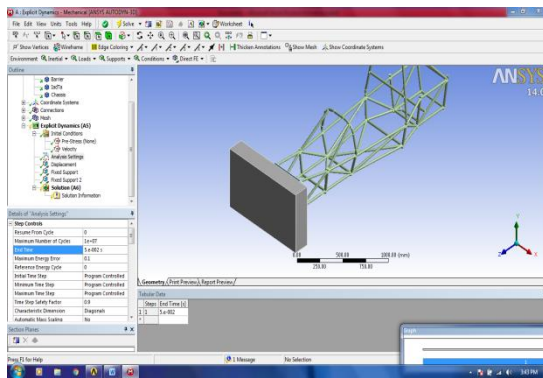
4. Pemberian kecepatan awal sebesar 48 km/jam



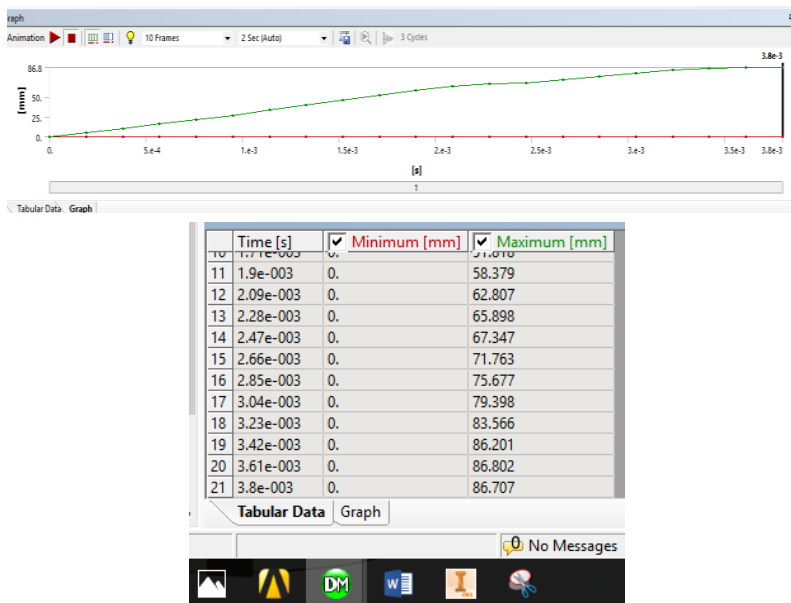
Gambar 3.15 Pemberian kecepatan awal tumbukan

5. Penentuan lamanya tumbukan

End time untuk *collision* kali ini didapatkan dengan beberapa kali simulasi untuk mendapatkan end time yang dapat menunjukkan kapan deformasi maksimal terjadi.



Gambar 3.16 Pemberian waktu tumbukan

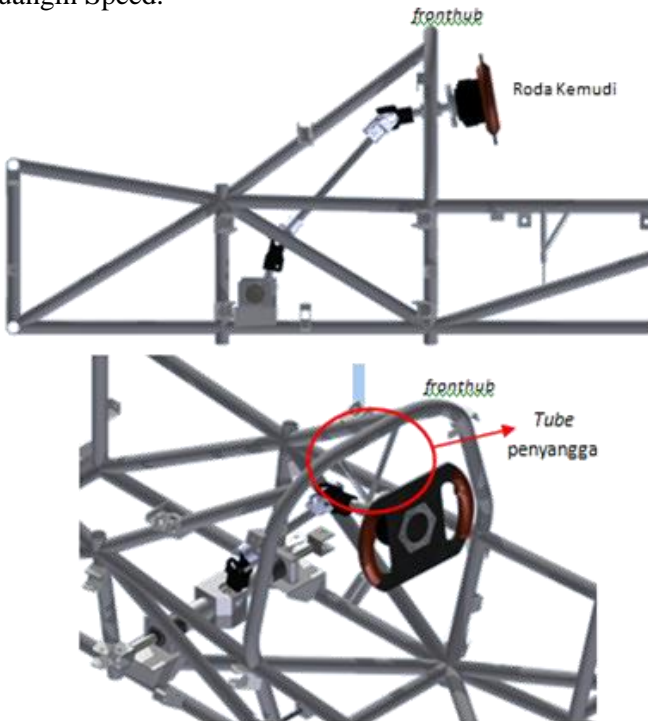
Gambar 3.17 Grafik dan turbular data untuk *End Time* sebesar 0.004 detik

Dari grafik dan turbular data pada gambar 3.17, didapatkan bahwa deformasi maksimal terjadi pada saat 0.0036 detik, sehingga simulasi *collision* yang akan dilakukan cukup dengan *end time* sebesar 0.004 detik. End time ini akan digunakan untuk keempat variasi *collision* yang akan disimulasi.

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

1.1. Analisa deformasi chassis Sapuangin Speed 4

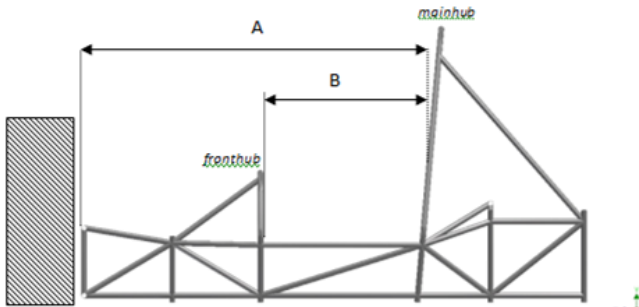
Sebagai acuan untuk menentukan besarnya deformasi yang terjadi pada chassis, maka dapat diamati deformasi pada roda kemudi yang berapa di tengah. Terdapat dua *tube* penyangga poros roda kemudi yang melekat pada *front hub*. Berikut ini merupakan gambar dari letak roda kemudi di mobil Formula Sapuangin Speed.



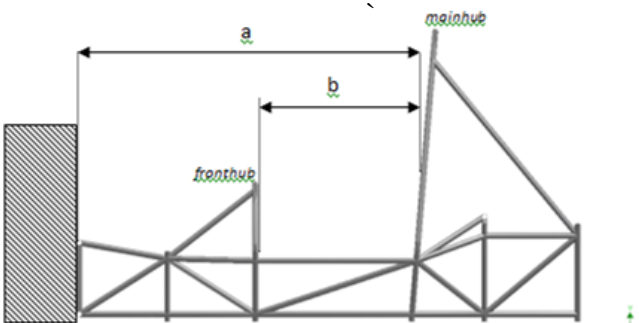
Gambar 4.1 Posisi roda kemudi pada mobil Formula Sapuangin Speed

. Karena letak roda kemudi dianggap rigid dan melekat pada *fronthub* sehingga deformasi yang dialami oleh *fronthub* akan sama dengan besarnya perpindahan roda kemudi. Sehingga, analisa perpindahan roda kemudi dapat dilakukan dengan menghitung selisih dari besarnya perpindahan kemudi pada *fronthub* dan besarnya perpindahan pada *mainhub* untuk referensi.

Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan keadaan chassis sebelum dan sesudah terjadi *collision*, dimana A dan a adalah jarak dari bagian depan chassis ke *fronthub*, B dan b adalah jarak antara *fronthub* dan *mainhub*.



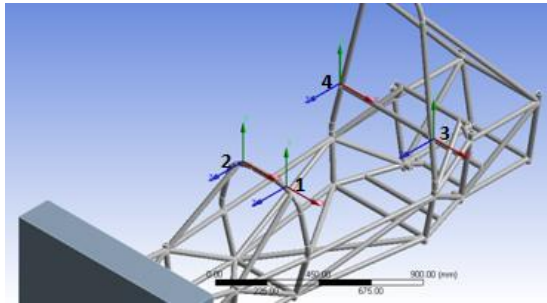
Gambar 4.2 Chassis sebelum terjadi *collision*



Gambar 4.3 Chassis sesudah terjadi *collision*

Untuk mengetahui besarnya deformasi, pada *fronthub* dan *mainhub*, maka perlu diberi titik koordinat sebagai acuan sebelum

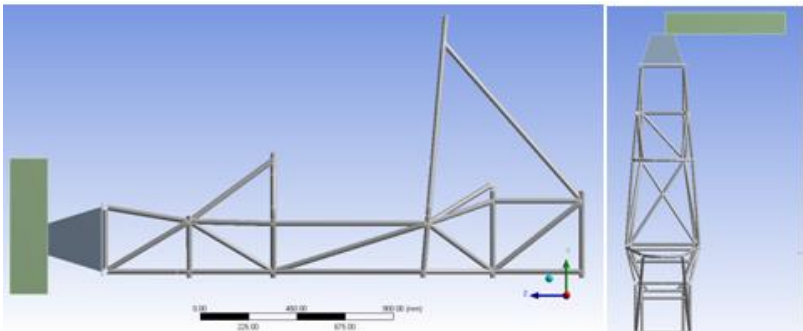
terjadi tabrakan. Penentuan titik koordinat dapat dilihat pada gambar 4.4



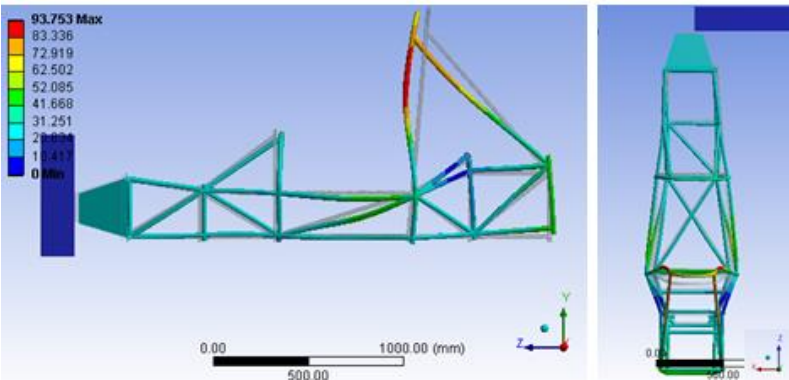
Gambar 4.4 Posisi koordinat pada bagian *fronthub* dan *mainhub*

Koordinat 1 merupakan posisi awal titik untuk *fronthub* kiri dan koordinat 2 untuk *fronthub* kanan. Koordinat 3 merupakan posisi awal titik untuk *mainhub* kiri dan koordinat 4 untuk *mainhub* kanan. Untuk total perpindahan pada chassis dapat dihitung dari selisih perpindahan koordinat pada *fronthub* dan *mainhub*.

1.2. *Full width frontal collision menggunakan impact attenuator*



Gambar 4.5 Posisi chassis dengan menggunakan *impact attenuator* sebelum *full-width frontal collision*



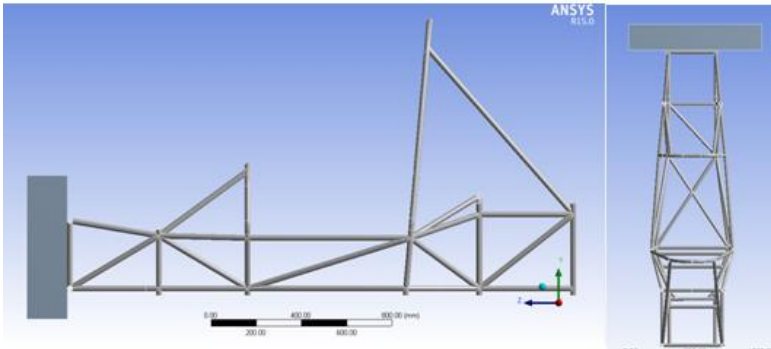
Gambar 4.6 Posisi chassis dengan menggunakan *impact attenuator* setelah *full-width frontal collision*

Table 4.1 Perhitungan perpindahan *fronthub* pada saat *full-widtht frontal collision* degnan *impact attenuator*

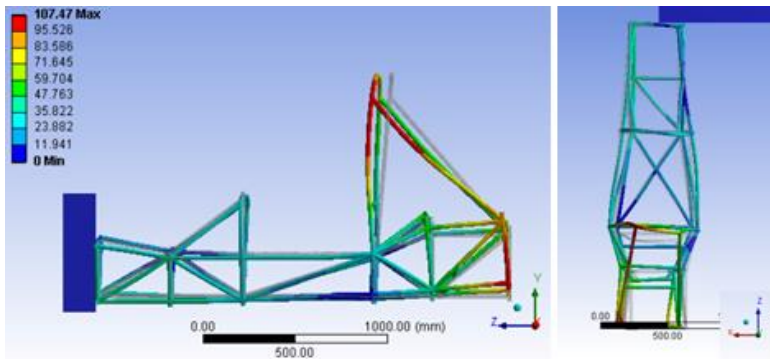
Koordinat	Poisi awal (sumbu z) mm	Besarnya deformasi (sumbu z) mm	Selisih deformasi	Deformasi rata-rata
1	-1211,4	-30,96	56,311	56,60
3	-1957,4	25,351		
2	-1211,4	-30,34	56,89	
4	-1957,4	26,55		

Jika ditinjau dari referensi koordinat pertama dan ketiga yaitu pada *fronthub* kiri dan *mainhub* kiri chassis terdeformasi sebesar 56,311 mm. Referensi kedua dan keempat yaitu pada *fronthub* kanan dan *mainhub* kanan chassis terdeformasi sebesar 56,89 mm. Dengan besar demformasi rata-rata adalah 56,60 mm. Besarnya deformasi antara *fronthub* dan *mainhub* yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design chassis **aman**.

1.3. Full width frontal collision tanpa impact attenuator



Gambar 4.7 Posisi chassis tanpa menggunakan *impact attenuator* sebelum *full-width frontal collision*



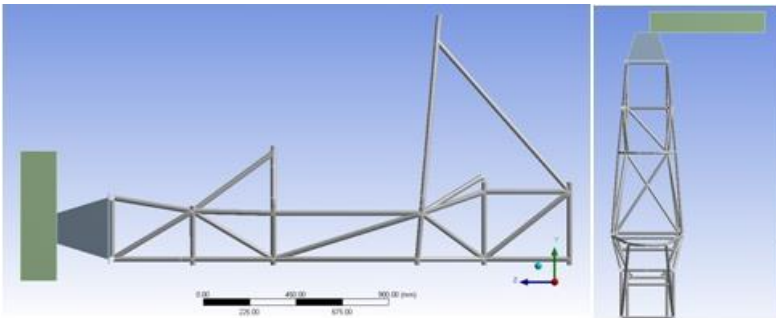
Gambar 4.8 Posisi chassis tanpa menggunakan *impact attenuator* setelah *full-width frontal collision*

Table 4.2 Perhitungan perpindahan *fronthub* pada saat *full-width frontal collision* tanpa *impact attenuator*

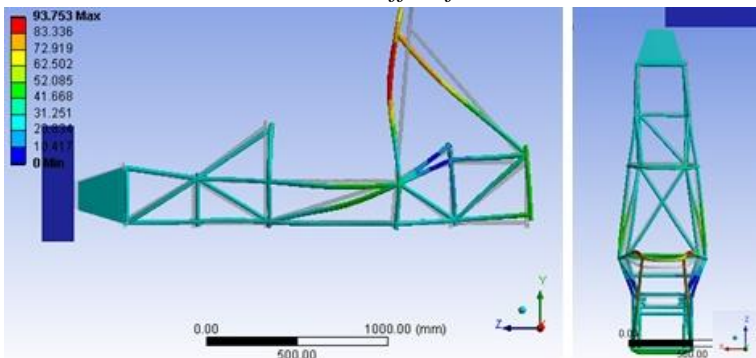
Koordinat	Poisi awal (sumbu z) mm	Besarnya deformasi (sumbu z) mm	Selisih deformasi	Deformasi rata-rata
1	-1211,4	-7,24	77,2	68,48
3	-1957,4	69,96		
2	-1211,4	-14,732	59,77	
4	-1957,4	45,045		

Jika ditinjau dari referensi koordinat pertama dan ketiga yaitu pada *fronthub* kiri dan *mainhub* kiri chassis terdeformasi sebesar 64,927 mm. Referensi kedua dan keempat yaitu pada *fronthub* kanan dan *mainhub* kanan chassis terdeformasi sebesar 66,179 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 65,553 mm. Besarnya deformasi antara *fronthub* dan *mainhub* yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design chassis aman.

1.4. Offset frontal collision menggunakan impact attenuator



Gambar 4.9 Posisi chassis dengan menggunakan *impact attenuator* sebelum *offset frontal collision*



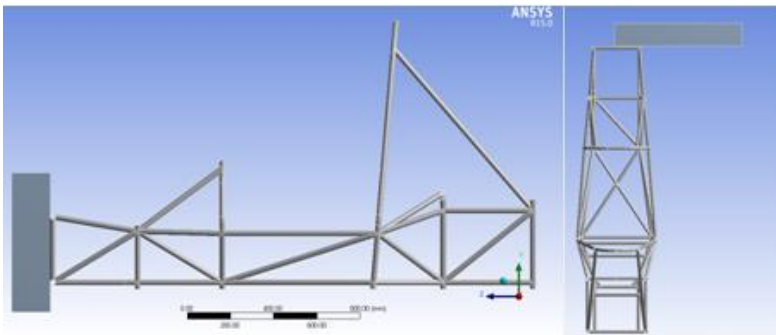
Gambar 4.10 Posisi chassis dengan menggunakan *impact attenuator* setelah *offset frontal collision*

Table 4.3 Perhitungan perpindahan *fronthub* pada saat *offset collision* dengan *impact attenuator*

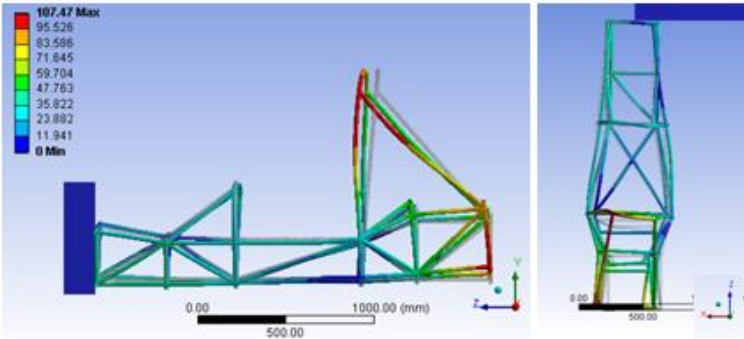
Koordinat	Posisi awal (sumbu z) mm	Besarnya deformasi (sumbu z) mm	Selisih deformasi	Deformasi rata-rata
1	-1211,4	-35,245	61,532	62,519
3	-1957,4	26,287		
2	-1211,4	-33,585	63,507	
4	-1957,4	29,922		

Jika ditinjau dari referensi koordinat pertama dan ketiga yaitu pada *fronthub* kiri dan *mainhub* kiri chassis terdeformasi sebesar 61,531 mm. Referensi kedua dan keempat yaitu pada *fronthub* kanan dan *mainhub* kanan chassis terdeformasi sebesar 63,507 mm. Dengan besar deformasi rata-rata adalah 62,519 mm. Besarnya deformasi antara *fronthub* dan *mainhub* yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design chassis **aman**.

1.5. *Offset frontal collision tanpa impact attenuator*



Gambar 4.11 Posisi chassis tanpa menggunakan *impact attenuator* sebelum *offset frontal collision*



Gambar 4.12 Posisi chassis tanpa menggunakan *impact attenuator* setelah *offset frontal collision*

Table 4.4 Perhitungan perpindahan *fronthub* pada saat *offset frontal collision* tanpa *impact attenuator*

Koordinat	Poisi awal (sumbu z) mm	Besarnya deformasi (sumbu z) mm	Selisih deformasi	Deformasi rata-rata
1	-1211,4	-7,24	77,2	68,48
3	-1957,4	69,96		
2	-1211,4	-14,732	59,77	
4	-1957,4	45,045		

Jika ditinjau dari referensi koordinat pertama dan ketiga yaitu pada *fronthub* kiri dan *mainhub* kiri chassis terdeformasi sebesar 77,2 mm. Referensi kedua dan keempat yaitu pada *fronthub* kanan dan *mainhub* kanan chassis terdeformasi sebesar 59,77 mm. Dengan besar demformasi rata-rata adalah 68,48 mm. Besarnya deformasi antara *fronthub* dan *mainhub* yang belum melebihi 127 mm menunjukkan bahwa design chassis **aman**.

1.6. Analisa hasil simulasi

Dari hasil simulasi di atas maka dapat ditabelkan sebagai berikut :

Table 4.5 Hasil simulasi dari empat variasi *collision*

Variasi collision	Perpindahan <i>fronthub</i> (mm)	
	<i>Full width frontal collision</i>	<i>Offset frontal collision</i>
Dengan <i>impact attenuator</i>	56,600	62,519
Tanpa <i>impact attenuator</i>	65,553	68,48

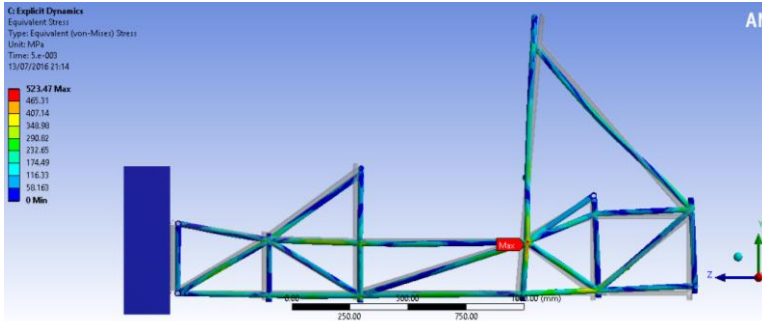
Dari table diatas tampak bahwa deformasi terbesar terjadi pada *offset frontal collision* tanpa menggunakan *impact attenuator*. Hal ini terjadi karena pada *offset frontal collision* tanpa *impact attenuator*, energi tumbukan langsung diserap oleh *chassis* sehingga mengakibatkan perpindahan *fronthub* lebih besar dari pada *collision* dengan *impact attenuator*. Pada pengujian *offset frontal collision*, energy tumbukan hanya diserap oleh sebagian dari *chassis* karena kontak permukaan dengan barrier lebih kecil dari *full width frontal collision*. Sehingga deformasi pada *offset frontal collision* lebih besar dari *full width frontal collision*.

Dari empat variasi simulasi *collision* pada *chassis* sapuangin speed, kendaraan masih dalam batas keamanan sesuai standar FMVSS 204 yang menyebutkan bahwa perpindahan roda kemudi yang diizinkan sebesar 127 mm. Hal ini disebabkan karena massa dari mobil Sapuangin Speed ini termasuk kendaraan tipe ringan jika dibandingkan dengan kendaraan penumpang pada umumnya. Dan struktur *chassis* masih mampu untuk tidak terbeformasi lebih dari 127 mm ketika terjadi tabrakan dengan kecepatan sesuai standar yaitu 48 km/jam.

Impact attenuator yang digunakan sebagai damper dapat mengurangi deformasi yang terajadi pada *chassis*. Pada *full width frontal collision*, *impact attenuator* dapat mereduksi hingga 18% dari deformasi yang terjadi pada *chassis* tanpa *impact attenuator*. Sedangkan pada *offset frontal collision* dapat mereduksi hingga 8% dari deformasi yang terjadi pada *chassis* tanpa *impact attenuator*. Hal ini terjadi karena pada *offset frontal collision* luas area yang menjadi kontak untuk tumbukan lebih kecil dari *full width frontal collision*, deformasi yang dialami oleh *impact*

attenuator ketika *collision* sudah maksimal, sehingga energi tumbukan yang diterima oleh *chassis* juga lebih besar.

1.7. Tegangan yang terjadi pada *chassis* ketika *offset frontal collision* tanpa menggunakan *impact attenuator*.



Gambar 4.13 Hasil simulasi tegangan yang terjadi pada *chassis*

Dari hasil simulasi tegangan pada *chassis*, tegangan maksimal dialami oleh *tube* dibagian side impact sebesar 540 MPa. Tegangan yang terjadi lebih besar dari ultimate strength yang dimiliki oleh aluminium yaitu 280 MPa. Sehingga struktur pada side impact mengalami kegagalan. Tetapi deformasi total yang ada pada chassis tetap memenuhi standar FMVSS 204 karena deformasi total yang terajadi masih dapat ditahan oleh struktur *chassis* yang lainnya, seperti *fronthub bracing*, *rollhub bracing*, dan pada *fronthub*.

1.8. Interpretasi *collision* pada *barrier* dengan kemungkinan *collision* yang terjadi saat kompetisi

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diinterpretasikan pada kemungkinan - kemungkinan terjadinya *collision* pada saat event Student Formula Jepang sebagai berikut:

- *Full width* dan *offset collision* terjadi saat menabrak pembatas

Apabila kendaraan menabrak pembatas dengan massa 100 kg dalam kondisi diam, maka kendaraan masih aman jika menabrak pembatas dengan kecepatan maksimal 144 km/jam.

- *Full width* dan *offset collision* terjadi saat menabrak mobil didepan dengan kecepatan tertentu

Apabila kendaraan menabrak mobil didepan yang melaju dengan kecepatan 80 km/jam dan memiliki massa yang sama, maka kendaraan masih aman jika menabrak dengan kecepatan 176 km/jam.

- *Full width* dan *offset collision* terjadi saat menabrak mobil di depan saat posisi diam

Apabila kendaraan menabrak mobil didepan saat mobil didepan dalam keadaan diam dan memiliki massa yang sama, maka kendaraan masih aman jika menabrak dengan kecepatan 96 km/jam

- *Full width* dan *offset collision* terjadi dalam keadaan sedang bermanuver

Apabila kendaraan akan bermanuver lalu menabrak kendaraan didepannya yang melaju dengan kecepatan 40 km/jam, maka kendaraan masih aman jika menabrak dengan kecepatan 136 km/jam

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi *collision* pada *chassis* sapuangin speed yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Deformasi pada *chassis* mobil formula Sapuangin Speed saat mengalami *full width frontal collision* dengan menggunakan *impact attenuator* sebesar 56,6 mm, *full width frontal collision* tanpa menggunakan *impact attenuator* sebesar 65,553 mm, *offset frontal collision* dengan menggunakan *impact attenuator* sebesar 62,519 mm, *offset frontal collision* tanpa menggunakan *impact attenuator* sebesar 68,48 mm. Dari semua data di atas maka *chassis* kendaraan masih dalam batas keamanan yang diijinkan yaitu 127 mm.
2. *Impact attenuator* yang berfungsi sebagai *damper* untuk *chassis* pada perlombaan *Student Formula Japan* dapat mengurangi besarnya defleksi yang terjadi pada *chassis* hingga 18 % untuk *fullwidtht frontal collision* dan 8% untuk *offset frontal collision*.

1.2 Saran

Untuk pemodelan *chassis* sapuangin berikutnya, perlu diperhatikan lagi bagian *cockpit* hingga ke belakang, karena deformasi terbesar terjadi pada bagian *fronthub* dan *fronthub bracing* yang harusnya menjadi pelindung driver saat terjadi kecelakaan.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Halim, Najihun Gulam. *Studi Eksperimen dan Pemodelan Finite Elemen Material Polystyrene untuk Impact Attenuator Kendaraan Sapauangin Speed*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015
- [2] Hibbleer, R.C. *Mekanika Teknik – Dinamika*, PT Prenhallindo, Jakarta
- [3] Kamal, Mounir M. *Modern Automotiev Structural Analysis*, Van Norstrand Reinhold Company, Ney York, 1982
- [4] Material Property data, web : www.matweb.com
- [5] Moaveni, Saeed. *Finite Elemen Analysis (Theory and Application wwith ANSYS)*, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddler Riber, New Jersey, 1999.
- [6] National Crash Analysis Center (NCAC), *Introduction to Vehicle Crahworthiness Lecture-1*, Web: <http://crash.ncac.gwu.edu/preedep/>.
- [7] Nugroho, Agung Setiyo. *Studi Kasus Collision pada Chassis Articulated Bus Dengan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2008.
- [8] Rahadian, Mohd Novry. *Analisa Collision pada Kendaraan Model Van dengan Menggunakan Ansys 8.0*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2005
- [9] SAE Rule International for Student Formula, 2016.
- [10] Sutantra, I Nyoman. *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya* edisi Revisi. Guna Widya, Surabaya, 2009
- [11] U.S. Department of Tranportation National Highway Traffic Safety Administration. *Laboratory Test Procedure for FMVSS 204 Steering Control Rearward Displacement*, Washington, DC, 1996

BIODATA PENULIS



Abdillah Hadi Alif Ilhami lahir di Surabaya 5 Desember 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Effenfi Zaini dan Pudji Triati Yulia. Penulis mengawali pendidikan di TK Trisula Sidoarjo pada tahun 1999 sampai 2000. Pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 1 Sidoarjo pada tahun 2000 sampai 2006. Lalu pendidikan menengah di SMPN 1 Sidoarjo pada tahun 2006 sampai 2009. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Sidoarjo pada tahun 2009 sampai 2012. Rencana awal penulis yaitu melanjutkan pendidikan di kedokteran, tapi karena Allah berkehendak lain, akhirnya penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil jurusan favorit yaitu Teknik Mesin angkatan 2012 “M55” dengan NRP 2112100046.

Selama masa perkuliahan penulis banyak mendapat kesempatan dalam mengembangkan dan menggali potensi, baik dibidang akademik maupun non-akademik. Penulis aktif di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) dengan menjabat sebagai Koordinator servis rutin Divisi Roda 2 2013-2014 dan staf ahli tahun 2014-2016. Bersamaan dengan menjabat sebagai staf ahli, penulis juga bergabung dalam ITS Team Sapuangin dengan menjabat sebagai Divisi Body pada tahun kepengurusan 2014-2015 dan sebagai Technical Manager pada tahun 2015-2016. Penulis mengerjakan tugas akhir di bawah naungan Laboratorium Mekanika Benda Padat tetapi penulis lebih banyak meluangkan waktunya di Markas

Sapuangin. Semoga kelak buku yang penulis buat ini akan berguna demi kelangsungan dan kejayaan Sapungain pada bidang otomotif yang saat ini masih berkembang di Indonesia

Kritik dan saran sangat diharapkan guna peningkatan kualitas dan penulisan selanjutnya. Untuk itu, silahkan kirim kritik dan saran ke : alif051293@gmail.com